



Treball Final de Carrera

Estudi edàfic dels boscos joves de pi negre del Parc Nacional d'Aigüestortes i Sant Maurici

Núria Bruch Oms

Enginyeria Tècnica Agrícola. Especialitat en Indústries Agroalimentàries

Directora: Carme Casas Arcarons

Vic, juny de 2012

AGRAÏMENTS

Les meves primeres paraules d'agraïment són per la tutora, Carme Casas Arcarons ja que m'ha guiat i donat suport en la realització del treball i en l'elaboració de la memòria final.

Donar les gràcies al SART Medi Ambient de la Universitat de Vic per poder realitzar les analítiques del treball a les seves instal·lacions i en especial a l'Anna Busquets i la resta de companys, per l'ajut i suport moral durant tot aquest temps.

A en Pere Casals del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya per la seva col·laboració i atenció personal.

Finalment, expressar el meu agraïment a la família i amics pels ànims a seguir endavant en l'elaboració d'aquest treball.

INDEX

RESUM.....	6
1. INTRODUCCIÓ.....	8
2. OBJECTIU.....	9
3. ANTECEDENTS.....	9
3.1. Boscos de pi negra (<i>Pinus uncinata</i>).....	9
3.2. Fertilitat del sòl.....	12
3.2.1. Composició del sòl.....	12
3.2.2. Característiques fisicoquímiques dels sòls.....	13
3.2.2.1. pH.....	13
3.2.2.2. Matèria orgànica.....	17
3.2.2.3. Carbonats.....	22
3.2.2.4. Fòsfor.....	23
3.2.2.5. Capacitat d'intercanvi catiònic.....	25
3.2.2.6. Calci, Sodi, Potassi i Magnesi.....	26
3.2.2.7. Textura.....	28
4. ÀREA D'ESTUDI.....	31
4.1. Característiques de les parcel·les estudiades.....	31
5. MATERIAL I MÈTODES.....	33
5.1. Recollida de mostres.....	33
5.2. Preparació de les mostres.....	33
5.3. Anàlisi de les mostres.....	33
5.4. Anàlisi de les dades.....	34
6. RESULTATS I DISCUSSIÓ.....	35
6.1. Textura.....	36
6.2. Acidesa del sòl.....	36
6.3. Matèria orgànica.....	37
6.4. Nitrogen total.....	39
6.5. Relació C/N.....	41
6.6. Fòsfor.....	43
6.7. Calci, Sodi, Potassi i Magnesi.....	44
6.8. Capacitat d'intercanvi catiònic.....	49
7. CONCLUSIONS.....	52
8. BIBLIOGRAFIA.....	54

ANNEX 1: CARACTERÍSTIQUES DE LES PARCEL·LES ESTUDIADES.....56

- Taula A1.1: Característiques parcel·les estudiades
- Figura A1.1: Situació de les parcel·les estudiades de boscos de nova formació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

ANNEX 2: TAULES DE RESULTATS DE LES ANÀLISIS FÍSICOQUÍMIQUES DEL SÒL.....60

- Taula A2.1: pH i acidesa de reserva de les parcel·les estudiades.
- Taula A2.2: Resultats de l'anàlisi granulomètrica de l'horitzó subsuperficial (5-15 cm) dels sòls de les parcel·les estudiades.
- Taula A2.3: Resultats de les anàlisis de nitrogen, carboni oxidable, matèria orgànica, relació C/N i fòsfor dels sòls de les parcel·les estudiades.
- Taula A2.4: Resultat de les anàlisis dels cations i capacitat d'intercanvi catiònic dels sòls de les parcel·les estudiades.

ANNEX 3: MATRIUS DE CORRELACIÓ DELS PARÀMETRES FÍSICOQUÍMICS DELS SÒLS.....65

- Taula A3.1: Matriu de correlació dels paràmetres físicoquímics de tots els horitzons (0-15 cm).
- Taula A3.2: Matriu de correlació dels paràmetres físicoquímics de l'horitzó superior (0-5 cm).
- Taula A3.3: Matriu de correlació dels paràmetres físicoquímics de l'horitzó inferior (5-15 cm).

ANNEX 4: PROCEDIMENTS NORMALITZATS DE TREBALL (PNT)69

Resum de Treball Final de Carrera

Enginyeria Tècnica Agrícola. Especialitat en Indústries Agràries i Alimentàries

Títol: Estudi edàfic dels boscos joves de pi negre del Parc Nacional d'Aigüestortes i Sant Maurici

Paraules clau: Sòl, fertilitat, caracterització fisicoquímica, *Pinus uncinata*.

Autor: Núria Bruch Oms

Direcció: Carme Casas Arcarons

Data: juny de 2012

RESUM

Estudiem les característiques edàfiques del sòl dels boscos joves de pi negre (*Pinus uncinata*) de l'estatge subalpí del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici corresponents a àrees de reforestació entre els anys 1956 i 2008. Aquest estudi s'ha fet de 29 parcel·les d'aquesta zona situades sobre diferents tipus de substrat, orientació i pendent. S'ha caracteritzat el sòl a partir de l'anàlisi de textura, matèria orgànica, nitrogen total, fòsfor, sodi, potassi, magnesi, calci, capacitat d'intercanvi catiònic, acidesa del sòl, relació C/N. Els resultats confirmen que es tracta de sòls àcids amb un elevat contingut de matèria orgànica a l'horitzó superficial (0-5 cm) i majoritàriament tenen humus de tipus moder. Això fa que aquest tinguin valors de nitrogen total elevats. Gràcies al pH àcid i els continguts de potassi, calci i magnesi tindrem una bona fertilitat ja que la solubilitat i assimilació dels nutrients del sòl serà bona. Tots els valors obtinguts disminueixen en profunditat i mostren una gran variabilitat entre les parcel·les estudiades.

Title: Edaphic characterization of young forests of black pine from “Parc Nacional d’Aigüestortes i Sant Maurici”

Key words: Soil, fertility, physicochemical characterization, *Pinus uncinata*.

Author: Núria Bruch Oms

Director: Carme Casas Arcarons

Date: June 2012

ABSTRACT

It has been studied edaphic soil characteristics of young forests of black pine (*Pinus uncinata*) of the subalpine stage from “Parc Natural d’Aigüestortes i Estany de Sant Maurici” corresponding to areas of reforestation between 1956 and 2008. This study have been done of 29 plots of this zone located on different types of substrate, orientation, total nitrogen, phosphorus, sodium, potassium, magnesium, calcium, ion exchange’s capacity, soil’s acidity and C/N relation. Results confirm they are acid soils and mostly with moder humus. That is the reason why this horizon has high total nitrogen. Due to the acid pH and the contents of potassium, calcium and magnesium we will have good fertility since the solubility and assimilation of soil nutrients will be good. All the obtained values decline in depth and show a wide variability between the studied plots.

1. INTRODUCCIÓ

Els paisatges d'alta muntanya alpina manifesten respostes complexes davant el canvi global condicionat principalment pel factor climàtic i els usos del sòl. Segons documents de muntanyes alpines, dels Pirineus orientals i del propi Parc Nacional d'Aigüestortes (Carrillo et al., 2010), la resposta general a aquest canvi és la tendència a la reforestació d'àmplies àrees desforestades per ús pecuari. Tot i així se'n sap molt poc sobre la velocitat de resposta dels ecosistemes, tant a escala general com a escala de parcel·la i sobre el nivell d'afectació en les poblacions vegetals i animals.

En els boscos subalpins pirinencs hi domina gairebé sempre *Pinus uncinata* i uns pocs tàxons arbustius o subarbustius. Els límits altitudinals de l'estatge subalpí varien entre 1600 i 1800 metres a la part baixa i entre 2200 i 2400 metres a la part alta depenent del grau de continentalitat climàtica i a l'exposició del vessant. Als Pirineus aquest estatge correspon al domini dels boscos de pi negre (*Pinus uncinata*). Tot i així l'avanç dels ecosistemes forestals subalpins en detriment d'altres cobertes vegetals, no es preveu ni regular ni constant ja que la variabilitat climàtica interanual i la diversitat fisiogràfica i la combinació de factors que varien independentment donen multiplicitat de respostes en la successió vegetal.

Als Pirineus, com a la majoria de les muntanyes alpines, l'aprofitament de la zona del límit superior del bosc, sobretot, per guanyar terrenys de pastura, ha suposat la seva antropització des de molts segles enrere. Però al llarg del segle XX, la despoblació de les zones de muntanya ha comportat una disminució de les activitats agropecuàries tradicionals, molta acusada a partir de 1950.

En conseqüència s'ha plantejat documentar el procés de reforestació natural de *Pinus uncinata* a l'estatge subalpí del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici durant 50 anys i preveure els darrers escenaris de futur més probables. En aquest paisatge, extenses i diverses unitats de pastura poden revertir a la seva potencialitat forestal en relació amb els canvis en els usos del sòl.

Per això a més de l'estudi de *Reforestació de l'estatge subalpí per boscos de Pinus uncinata: diversitat i estructura* realitzat per Carrillo et al. (2010), s'ha volgut estudiar les característiques edàfiques dels sòls ocupats per aquests boscos al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici.

2. OBJECTIU

Conèixer la fertilitat dels sòls dels boscos de pi negre desenvolupats en els darrers 50 anys a l'estatge subalpí del Pirineu.

Aquest objectiu és una part dels objectius contemplats en el projecte *Reforestación natural en el dominio del Pinus uncinata y cambios en la diversidad del piso subalpino en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*, finançat per l'organisme Autònom de Parcs Nacionals.

3. ANTECEDENTS

3.1. Boscos de pi negre (*Pinus uncinata*)

A la Península Ibèrica, el pi negre (*Pinus uncinata* Ramondi ex DC) es considera una espècie eurosiberiana subalpina, que colonitza tot tipus de sòls. La reproducció és predominantment sexual i les seves plàntules resisteixen bé el fred i les gelades (Julio, 1999).

La seva distribució latitudinal es troba en el rang entre 45° i 43°. A la Península Ibèrica en podem trobar als Pirineus, i a les Serres de Gúdar, Cebollera i Guara. També trobem repoblacions al Sistema Central. El 77% de la població de pi negre es troba a Catalunya i la resta a Osca (Figura 1).



Figura 1: Distribució de *Pinus uncinata* a la Península Ibèrica (Bravo, Montero).

Les característiques de desenvolupament del pi negre es detallen a la Taula 1.

Taula 1: Característiques de desenvolupament de *Pinus uncinata* (Bravo, Montero).

Altitud	(800) 1400 - 2300 (2500) metres
Regim pluviomètric	PMA (mm): >800 P. estiu (mm): >200 Mesòfila. Resistent a nevades
Règim tèrmic	TMA (°C): 4 TMC (°C): <15 TMF (°C): <0 Microterma. Resistent a gelades.
Subtipus fito climàtic (ALLUE, 1990)	VI: VIII (VI)
Pis bioclimàtic (RIVAS,1987)	Subalpí, montà i oromeditarrani.
Caràcters edàfics	Profunditat: No limitant Textura: Indiferent. Suporta sòls pedregosos. Reacció: Indiferent. Sols descarbonatats. Calç activa: No calcífuga Fertilitat: Espècie frugal.
Temperament	Mitja llum a mitja ombra, segons localització.
Port	Arbre de fins a 25m. Copa densa, cònic-piramidal, més aviat estreta.
Sistema radical	Arrel principal potent desenvolupada, secundàries gruixudes, esteses i asimètriques, proporcionant un gran anclatge.
Creixement	Molt lent
Longevitat	Fins a 300-400 anys, en estacions dolentes uns 200.
Reproducció	Sexual: Floreix de juny a juliol, madurant les pinyes al final del segon estiu i disminuint en el tercer, durant la primavera. Inicia fructificació a partir dels 10-15 anys.

(PMA: precipitació mitjana anual; P. estiu: precipitació que necessita l'espècie durant l'estiu; TMA: temperatura mitjana anual; TMC: temperatura mitjana del mes més càlid; TMF: temperatura mitjana del mes més fred)

A l'estatge subalpí dels Pirineus hi predominen els boscos de pi negre (*Pinus uncinata*). Els trobem formant boscos densos o poblacions esclarissades. El límit altitudinal d'aquesta espècie als Pirineus es troba al voltant dels 2500 metres. Les millors pinedes es desenvolupen en caients ombrívols i frescals, als vessants suaus i a altituds que sobrepassen poc els 2200 m. Pel què fa el límit inferior es troba a partir dels 1600m (1400m) (Carrillo, 2006).

Pinus uncinata és una espècie característica dels ecosistemes d'alta muntanya. El sòl d'aquests, acostuma a ser de formació molt lenta i dificultosa. Hi predominen els processos físics davant dels químics i biològics degut a les baixes temperatures. Això fa que trobem sòls molt poc desenvolupats, que resisteixen l'erosió amb més o menys èxit. En les millors condicions, els sòls alpins presenten perfils amb dos horitzons, i són molt humífers superficialment. A l'estatge subalpí trobem sòls més ben constituïts, amb perfils complexos, amb l'horitzó superior força humífer i tendència eutròfica. Freqüenten els sòls oligotròfics, pobres en nutrients que acostumen a trobar-se en substrats granítics.

Segons Camilo (2004) els sòls dels boscos de coníferes tenen valors baixos de pH, de capacitat d'intercanvi catiònic i de contingut de bases intercanviables i tenen pèrdua de nutrients per lixiviació. Això s'atribueix a la difícil descomposició de la fullaraca d'aquest tipus de plantes degut a que tenen alts continguts de lignina, que és molt difícil de descompondre i per tant el contingut de nutrients del sòl és pobre i això comporta una baixa fertilitat.

En l'estatge subalpí i alpí trobem sòls de formació lenta i dificultosa. Hi predominen els processos físics davant dels químics i biològics degut a les baixes temperatures. Els sòls alpins tenen perfils amb dos horitzons i són molt humífers a la superfície. A l'estatge subalpí podem trobar sòls més ben constituïts, però també molt humífers a l'horitzó superior. Són freqüents els sòls oligotròfics, pobres en elements nutritius que apareixen sobretot en substrats granítics (Carrillo, 2006).

3.2. Fertilitat del sòl

3.2.1. Composició del sòl

El sòl conté la matèria orgànica procedent de la vegetació i es veu condicionada per les característiques climàtiques de la zona on es troba (Molina, 2000). El volum de matèria orgànica aportada depèn de la producció vegetal.

El nitrogen total del sòl no es pot considerar com un paràmetre de fertilitat ja que les plantes no absorbeixen el nitrogen orgànic, que representa el 90% del total però si que és útil per a l'elaboració de la relació C/N la qual ens indica l'activitat de la biomassa i l'evolució del sòl (Molina, 2000).

El contingut de fòsfor del sòl també és imprescindible pel diagnòstic de la fertilitat del sòl. L'abundància d'aquest normalment no correspon amb la quantitat d'aquest en les seves formes assimilables per les plantes. Cal tenir en compte que el pH òptim al qual es produeix la màxima assimilació del fòsfor en sòls és entre 4.5 i 7.5. (Molina, 2000).

La matèria orgànica fa incrementar el fòsfor assimilable ja que és generadora de compostos adsorbint entre humus negatiu i PO_4^- reductors de la retrogradació (Molina, 2000). Entre el 33% i el 67% del fòsfor del sòl es troba a la matèria orgànica segons Molina (2000)

Juntament amb el nitrogen i el fòsfor, el potassi és un altre macroelement fonamental per a la nutrició vegetal en les diferents formes assimilables. El potassi, el calci i el magnesi també s'anomenen elements intercanviables i tenen gran importància en els processos d'intercanvi catiònic caracteritzats mitjançant la CIC (capacitat d'intercanvi catiònic). El potassi prové fonamentalment de la mineralogia del sòl i està en forma no assimilable per les plantes. També podem obtenir potassi d'origen orgànic procedent de les restes vegetals. Concentracions adequades de potassi en el sòl faciliten la resistència a la sequera o a les baixes temperatures en els vegetals ja que afavoreixen el desenvolupament radicular i regula l'aparell estomàtic (Molina, 2000).

La forma assimilable de tots aquests nutrients del sòl indispensables pel desenvolupament de les plantes depèn de la concentració d'ions H^+ d'una solució aquosa del sòl en estat d'equilibri, és a dir el pH. Per això també cal tenir en compte el pH del sòl a l'hora de determinar la fertilitat d'aquests.

La dimensió i la distribució de les partícules sòlides del sòl són dos factors també importants en l'assimilabilitat dels nutrients per part de les plantes. Una adequada

circulació de la solució aquosa, una bona aireació i la facilitat en al germinació i arrelament, estan directament relacionats amb aquests paràmetres edàfics.

Les característiques edàfiques de qualsevol territori depenen de la confluència de cinc factors (Ibarra, 2004). El material originari a partir del qual es genera el sòl (roca *in situ* o formacions al·lòctones), les condicions climàtiques que condicionen el grau de meteorització d'aquests materials i els processos edàfics dominants, la posició topogràfica i les característiques geomorfològiques que controlen els processos d'erosió i sedimentació i finalment els organismes vius, ja siguin els microorganismes, animals o l'esser humà que intervenen en la formació, conservació i/o destrucció del sòl.

3.2.2. Característiques fisicoquímiques dels sòls

3.2.2.1. pH

El pH expressa el caràcter àcid o bàsic del sòl. Fa referència a la concentració d'ions H^+ d'una solució aquosa que s'ha mantingut en contacte amb el sòl el temps suficient per arribar a l'equilibri.

El pH és el logaritme decimal negatiu de l'activitat de protons a la fase líquida del sòl. Com menor és el valor de pH, major és l'acidesa o activitat de protons.

$$pH = \log \frac{1}{(H^+)} = -\log(H^+) = pH_w$$

El pH afecta nombrosos processos i reaccions químiques. Proporciona informació sobre: la presència o absència de determinants constituents; la disponibilitat de nutrients per les plantes; la mobilitat d'elements contaminants; l'activitat de microorganismes; la conveniència d'actuar per a corregir acideses excessives; i sobre els cations que previsiblement hi haurà al complex de canvi, entre altres aspectes.

L'acidesa es pot expressar de varies formes:

- Acidesa activa o real: Expressa l'activitat dels protons a la fase líquida del sòl, per tant, és un valor molt pròxim al del pH al qual estan exposades les arrels de les plantes a la rizosfera.

Aquesta és determina mesurant el pH en una suspensió sòl-aigua desmineralitzada en una relació 1:2,5. L'aigua destil·lada adquireix els cations H^+ que no estan retenguts pel complex de canvi, és a dir, solament els que posseeix la solució aquosa del propi sòl.

- Acidesa intercanviable o potencial: És la quantitat de capacitat d'intercanvi catiònic total deguda als H^+ i, principalment, al Al^{3+} fàcilment intercanviable que, en hidrolitzar-se, genera protons.

Es mesura amb una solució no tamponada de KCl 1M que desplaça els H^+ i el Al^{3+} dels llocs actius d'intercanvi i els generats per la hidròlisis de Al^{3+} .

En el cas de terres sense carbonats (generalment àcides), el K^+ desplaça els ions H^+ del complex de canvi deixant-los en dissolució. Si la diferència entre el pH en aigua i en KCl és gran ens indica que el sòl està dessaturat, i tindrà tendència a l'acidificació. Si la diferència és petita o nul·la indica que hi ha una tendència a la salinització ja que el sòl està saturat de base (Úbeda, Sala, 1995). Si el sòl és calcari, el complex de canvi no contindrà ions H^+ sinó Ca^{2+} , que també seran desplaçats per l'ió K^+ . El seu valor acostuma a ser entre 0.5 i 1 unitat de pH més baix que el mesurat amb aigua.

El pH és considerat com una de les propietats químiques més importants del sòl ja que influeix sobre les característiques físiques, químiques i biològiques del sòl i sobre el cultiu (Serra, 2009):

- Activitat biològica del sòl. En sòls neutres o lleugerament bàsics, el nombre de microorganismes és superior i són més actius, en especial quan abunden els carbonats i la calç activa.

- Solubilitat de les espècies químiques del sòl. El pH del sòl afecta la disponibilitat dels nutrients vegetals (Figura 2). La disponibilitat dels nutrients es veu afectada per canvis en la solubilitat dels minerals del sòl. La majoria de minerals són més solubles en sòls àcids que en sòls neutres o lleugerament bàsics. La màxima disponibilitat per la majoria de nutrients es troba entre pH 6,0 i 7,0. Per exemple, els fosfats són insolubles en medi molt àcids o molt bàsics. Això voldrà dir que no seran assimilables pels cultius.

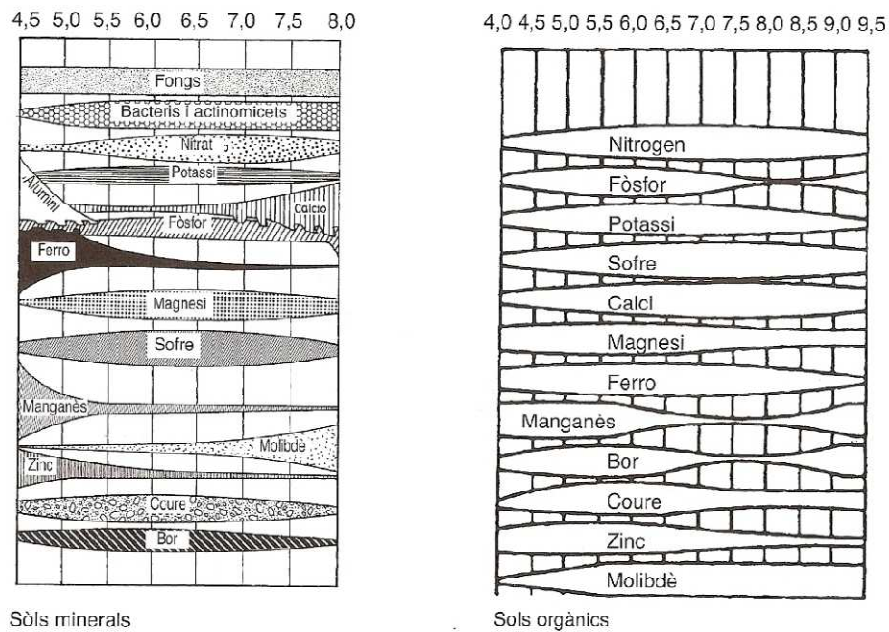


Figura 2: Disponibilitat de nutrients en el sòl segons el pH (Porta, J., et al. 2009).

- Estructura del sòl. Els sòls àcids solen tenir una estructura deficient, caracteritzada per una baixa porositat. Aquest fet no és resultat directe de l'abundància d'ions H^+ sinó de la falta de cations Ca^{2+} (els principals responsables de la floculació de les argiles) i també de la mala qualitat de la matèria orgànica d'aquests sòls (amb una baixa capacitat per a cimentar agregats), conseqüència de la dèbil activitat microbiana. Els sòls bàsics també poden presentar una estructura deficient si abunden els ions Na^+ (sòls salins) ja que desplacen a l'ió Ca^{2+} fora del complex de canvi i les argiles poden dispersar-se (Serra, 2009).
- Plantes. La incidència del pH sobre l'activitat microbiana i sobre la solubilitat/disponibilitat de diferents elements essencials o fitotòxics té conseqüències pel creixement vegetal. Per exemple els fongs desenvolupen les seves funcions en un rang ampli de pH però els bacteris i els actinomicets es desenvolupen millor en pH intermedis o elevats (Taula 2).

Taula 2: Tolerància de pH de diferents espècies vegetals.

Font: <http://www.socmicolmadrid.org/noti/noticias130.htm>

INDIFERENTS	ACIDÒFILES	BASÒFILES
<i>Abies alba</i> (pH neutro) <i>Abies pinsapo</i> <i>Pinus sylvestris</i> (prefiere silíceos) <i>Pinus pinea</i> (arenosos, prefere silíceos) <i>Pinus pinaster</i> (prefiere silíceos) <i>Pinus nigra</i> (prefiere calizos) <i>Pinus uncinata</i> (pino negro) Hayas (<i>Fagus</i>) Encina (<i>Quercus ilex</i>) Roble albar (<i>Quercus petraea</i>) Madroño (<i>Arbutus unedo</i>)	Castaño (o calizos muy lavados) Alcornoque (<i>Quercus suber</i>) Rebollo o melojo (<i>Quercus pyrenaica</i>) Carballo (<i>Quercus robur</i>) prefere silíceos <i>Betula alba</i> (soporta muy mal calizos) <i>Betula pendula</i> (soporta algo calizos)	Sabinas (<i>Juniperus thurifera</i>) prefiere calizos en España, con alto contenido en carbonato cálcico, ver Bosques Ibéricos, con excepciones sobre gneises en Lozoya, en Siguero (Segovia) o sobre pizarras en Tamajón <i>Quercus pubescens</i> (= <i>Quercus humilis</i>) abunda más en calizos Quejigo (<i>Quercus faginea</i>) abunda más en calizos Coscoja (<i>Quercus coccifera</i>) abunda más en calizos <i>Pinus halepensis</i> (prefiere calizos)

A la Taula 3 es detallen els efectes esperables que poden tenir els diferents valors de pH pel sòl i per les plantes.

Taula 3: Classificació del sòl i efectes segons el pH (Porta, J., et al. 2009).

pH	Avaluació	Efectes esperables a l'interval indicat
<4,5	Extremament àcid	Condicions molt desfavorables.
4,5-5,0	Molt fortament àcid	Possible toxicitat per Al^{3+} i Mn^{2+} . Toxicitat per metalls pesants en sòls contaminats.
5,1-5,5	Fortament àcid	Excés en: Co, Cu, Fe, Mn, Zn. Deficiència en: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Sòls sense carbonat càlcic. El formigó ordinari resulta atacat. Activitat bacteriana escassa.
5,6-6,0	Mitjanament àcid	Interval adequat per a la majoria dels cultius.
6,1-6,5	Lleugerament àcid	Màxima disponibilitat de nutrients.
6,6-7,3	Neutre	Mínims efectes tòxics. Per sota de pH=7,0 el carbonat càlcic no és estable, cas de trobar-se al sòl.
7,4-7,8	Mitjanament bàsic	Sòls generalment amb carbonat càlcic.
7,9-8,4	Bàsic	Disminueix la disponibilitat de Pi B. Deficiència creixent en: Co, Cu, Fe, Mn, Zn. Sòls calcaris. Clorosi fèrrica degut al HCO_3^- .
8,5-9,0	Lleugerament alcalí	En sòls amb carbonat càlcic, aquests valors de pH alts podrien explicar-se per la presència de $MgCO_3$, cas de no haver-hi sodi intercanviable. La clorosi fèrrica s'accentua (Rusell, 1978).
9,1-10,0	Alcalí	Presència de carbonat sòdic. $ESP > 15\%$
>10,0	Fortament alcalí	Elevat percentatge de sodi intercanviable ($ESP > 15\%$) Toxicitat per: Na, B. Mobilitat del P en forma de Na_3PO_4 . Activitat microbiana escassa. Micronutrients poc disponibles, excepte el $Mo \cdot Na_2CO_3$.

3.2.2.2. Matèria orgànica

La matèria orgànica del sòl agrupa tots els constituent orgànics del sòl. Estan formats per Carboni (52%-58%), Oxigen (34%-39%), Hidrogen (3.3%-4.8%) i Nitrogen (3.7%-4.1%) i, en una proporció menor, per Sofre, Fòsfor, Bor, Ferro, entre d'altres (Porta, J., et al. 2009).

Quan ens referim a la matèria orgànica cal diferenciar la matèria orgànica fresca (no humificada) i l'humus. La matèria orgànica fresca és la part de la matèria orgànica del sòl poc alterada, que es troba en un estadi anterior a l'humus. És constituïda per restes de plantes i animals, arrels fines, biomassa microbiana, microfauna, dejeccions, secrecions i excrecions solubles de plantes i animals. Constitueix la matèria prima per la formació de l'humus. Aquest és la fracció orgànica col·loïdal més o menys fosca que estableix unions fortes amb l'argila i els òxids de ferro (Porta, J., et al. 2009).

Troblem diferents tipus d'humus segons la seva composició i morfologia. Podem distingir humus mor, moder i mull (Jordán, 2005-2006). L'humus mor té una relació de C/N superior a 25 (fins a 30 o 40). Té una evolució lenta degut a la lenta taxa de mineralització de la matèria orgànica. La mineralització és realitzada per fongs acidòfils i altres organismes que afavoreixen la formació d'una capa de residus sobre la superfície del sòl que sovint conserva l'estructura de les restes vegetals. La lenta mineralització pot ser pel clima fred ja que la velocitat dels processos en què intervenen els microorganismes es veu reduïda. A més, l'escassa alteració química dels minerals del sòl fa que s'alliberin pocs cations i no es poden neutralitzar els àcids orgànics del sòl, de manera que afavoreix el pH àcid, dificultant l'activitat de fongs i bacteris. En climes temperats aquest tipus d'humus s'origina quan l'acidesa del sòl és molt acusada degut a la pobresa de cations de la roca, vegetació acidificant (coníferes), condicions de drenatge i rentat del sòl determinades.

L'humus moder té una relació C/N entre 15 i 25. L'horitzó que es pot veure té residus vegetals de mida petita que passa a horitzons acumulatius d'humus. Es forma quan l'activitat de bacteris i actinomicets és pobra i és més important la d'artròpodes i fongs acidòfils. En climes temperats apareix quan el pH del sòl és molt àcid (4,5-5,5), com ara el de sòls minerals, boscos de coníferes, etc. En climes freds és degut a la descomposició elevada dels residus orgànics.

Finalment l'humus mull és el més evolucionat. És característic de sistemes naturals i biològicament actius i es classifica en mull càlcic i mull forestal. El càlcic es troba en sòls bàsics amb relació C/N inferior a 12; té bona activitat de la microflora i per tant els residus orgànics es transformen ràpidament. El mull forestal es troba en climes

temperats o càlids; té una relació C/N entre 12 i 15. La roca mare pot ser silícica o càlcica.

Tot i que la matèria orgànica del sòl és un component minoritari té una gran importància en el funcionament dels ecosistemes. És un paràmetre químic clau en la qualitat del sòl ja que presenta una alta reactivitat que fa que tingui una gran importància al sòl per les reaccions químiques en què intervé de forma activa com ara en la formació del sòl, condiona el seu comportament en relació al creixement de les plantes i microorganismes ja que influeix en el moviment i retenció d'aigua, adsorció i intercanvi catiònic i en la font de nutrients entre d'altres. La majoria de les funcions del sòl són condicionades per la classe i quantitat de matèria orgànica. Aquesta condiona les propietats físiques com ara la formació de microagregats i macroagregats, la mida de porus, l'estabilitat de l'estructura, la densitat aparent, l'aeració i el moviment de l'aigua, entre d'altres. També influeix en les propietats químiques com ara la capacitat d'intercanvi catiònic, o la disponibilitat i absorció de nutrients i en l'activitat biològica del sòl, ja que constitueix un substrat que proporciona energia i nutrients pels organismes heteròtrofs del sòl (Taula 4) (Porta, J., et al. 1994).

Taula 4: Accions i efectes atribuïts a la matèria orgànica del sòl (Porta, J., et al. 2009).

Accions atribuïdes a la MO	Efectes
Enfosquiment del color de l'epipedió	Fa disminuir el albedo al ser menor la radiació rebuda. Incrementa la temperatura del sòl. Influeix sobre el balanç d'energia.
Estructuració del sòl	Afavoreix la: <ul style="list-style-type: none"> - Formació i estabilització d'agregats - Aireació - Resistència a l'encrostament. - Velocitat d'infiltració. - Circulació d'aigua. - Penetració de les arrels. - Resistència a l'erosió.
Adsorció e intercanvi d'ions	Interven en el cicle biogeoquímic dels nutrients: <ul style="list-style-type: none"> - Emmagatzematge sota formes orgàniques. - Evita pèrdues per rentat. - Allibera nutrients al mineralitzar-se. Control de l'acidesa i basicitat del sòl pel seu poder tamponador. Permet la formació de complexes: <ul style="list-style-type: none"> - Mobilització de metalls - Paper depurador davant abocaments.
Retenció i subministra d'aigua	Intervé en el balanç hídric del sòl
Estimulació de l'activitat biològica	Proporciona energia i nutrients per la flora i la fauna del sòl.
Estimulació del creixement vegetal	Conté reguladors de creixement. Té efectes antibiòtics sobre patògens.

La quantitat, la classe, l'evolució i la taxa de renovació de la matèria orgànica del sòl depenen de la naturalesa de les restes aportades i de factors vinculats a les condicions ecològiques del lloc.

El clima determina el tipus de vegetació i per tant la naturalesa de la matèria orgànica aportada al sòl. La precipitació fa que les aportacions de matèria orgànica augmentin, mentre que la temperatura n'afavoreix la mineralització.

La vegetació determina el tipus i la quantitat de matèria orgànica aportada anualment per la coberta vegetal. El gruix de l'horitzó enriquit amb matèria orgànica és més gran en un sòl de prat que en un sòl de bosc. La composició del material orgànic aportat fa que hi hagi espècies millorants i espècies acidificants, segons quina sigui la relació C/N, la qual cosa condiciona la taxa de descomposició i mineralització.

L'estructura del sòl contribueix a l'aeració i afavoreix la penetració de les arrels i l'activitat biològica.

Pel què fa a l'activitat biològica, la fauna del sòl fragmenta la matèria orgànica fresca i barreja els materials i els microorganismes intervenen en la descomposició i evolució de la matèria orgànica del sòl. Un augment de la respiració promoguda per processos alternants d'estats sec i humit fa disminuir la quantitat de matèria orgànica del sòl; per contra, condicions d'anaerobiosi afavoreixen l'acumulació de matèria orgànica poc descomposta. L'altitud també afecta la biologia del sòl. Els boscos de muntanya, on les baixes temperatures duren tot l'any, la descomposició per microorganismes es fa més lenta i la riquesa i abundància de fauna del sol disminueix i per tan els residus vegetals persisteixen més temps a l'horitzó orgànic (León, A., et al. 2010)

La posició de sòl en el paisatge influeix en el contingut de matèria orgànica en el sòl donat que determinades posicions del paisatge són zones de pèrdua de matèria orgànica per erosió, mentre que d'altres són zones d'aportació (planes al·luvials, parts basals de vessants i d'altres).

El material originari condiciona la textura del sòl. En general els sòls arenosos contenen menys matèria orgànica que els argilosos en les mateixes condicions.

Per interpretar els resultats de matèria orgànica podem tenir en compte la Taula 5.

Taula 5: Característiques del sòl segons el percentatge de matèria orgànica (Serra, 2009).

% de M.O	Característiques del sòl
<1%	Molt mineralitzats, subjectes a una forta erosió.
1-1.5%	Mineralitzats, qualitat baixa.
1.5-2%	Mineral-orgànics, qualitat alta.
>2%	Orgànics, molt bona qualitat

Com ja hem dit anteriorment la matèria orgànica del sòl està formada, principalment, per carboni orgànic, oxigen, hidrogen i nitrogen i, en menor proporció, per sofre, fòsfor, molibdè i altres elements. S'ha observat que les diferents classes de sòl no són gaire diferents pel què fa la composició elemental, i que el contingut de carboni de la matèria orgànica és gairebé constant, en canvi, el nitrogen és molt variable.

La relació C/N ens informa de la taxa a la qual el nitrogen estarà a disposició de les plantes i per tant és un indicador de qualitat de la matèria orgànica. Els valors alts (>25-30) indiquen que la matèria orgànica té una baixa capacitat de descomposició.

Distingim doncs entre vegetació milloradora i vegetació acidificant (Porta et al., 2009). La vegetació milloradora és la que aporta matèria orgànica amb una relació C/N baixa, la qual cosa significa que és rica en nitrogen, en substàncies hidrosolubles i en cel·lulosa i és relativament pobra en lignina. Una matèria orgànica d'aquesta classe activa els processos bacterians, atès que constitueix un substrat que els proporciona energia i nutrients (nitrogen, fòsfor, etc) fàcilment disponibles, ja que és una matèria orgànica molt làbil.

La vegetació acidificant és la que aporta al sòl matèria orgànica amb una relació C/N alta. El seu nivell energètic és baix. És pobra en nitrogen i rica en lignina. Pel contingut de tanins (efecte fungicida sobre els microbis), fenols tòxics i àcids orgànics, inhibeix l'activitat microbiana. Hi ha un bloqueig dels enzims i s'afavoreix el rentatge de cations basificants. Caracteritza les matèries orgàniques procedents de resinoses, com ara els pins (*Pinus sp.*), (Porta et al., 2009), (Taula 6).

Taula 6: Característiques del sòl segons la relació C/N (Úbeda, Sala, 1995).

C/N	Característiques del sòl
5-12	Humus mull càlcic
12-15	Humus mull forestal
15-23	Humus moder
20-26	Humus mor

Per una bona humificació de la matèria orgànica és necessària una bona activitat biològica, bona aireació del sòl i riquesa de carboni i nitrogen. Per una bona humificació és indispensable una descomposició ràpida de la matèria orgànica fresca.

La microflora edàfica que actua en al descomposició i mineralització de la matèria orgànica requereix carboni com a font d'energia i nitrogen com a intermediari en la síntesi de proteïnes.

Quan la relació C/N és elevada els microorganismes tenen molt carboni a la seva disposició, però els falta nitrogen, i pocs microorganismes poden actuar en la degradació. Per això es realitza la mineralització i el nitrogen amoniacal o nitrats assimilables per les plantes es troba en baixa quantitat. Així aquesta relació és important per determinar la fertilitat del sòl.

Es considera un sòl fèrtil quan la relació C/N és troba al voltant de 10 (Taula 7).

Taula 7: Característiques del sòl segons la relació C/N (Úbeda, Sala, 1995).

RELACIÓ C/N	INTERPRETACIÓ
<5	Excessiva mineralització. El contingut de matèria orgànica és baix. Escassa fertilitat. Destrucció de la microflora i microfauna.
5-8	Tendència a la mineralització de la matèria orgànica. La fertilitat és de baixa a moderada.
8-12	Equilibri entre la mineralització i la humificació. La fertilitat és elevada.
>12	Tendència a la humificació

3.2.2.3. Carbonats

La majoria de sòls de pH neutre o bàsic contenen carbonats, els qual estan sempre absents en sòls àcids. Aquests carbonats poden estar constituïts per Calcita (CaCO_3), Magnesita (MgCO_3) o Dolmita ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$); en sòls salins i extremadament bàsics també pot existir el carbonat sòdic (NaCO_3). Aquests carbonats en el sòl, són una herència directe del material constituent de la roca mare, o bé s'han originat a través de reaccions de precipitació entre ions de la solució del sòl.

Les característiques químiques més destacades de calcita, la magnesita i la dolomita, són la seva insolubilitat en aigua i la seva inestabilitat enfront als àcids.

Els carbonats d'un sòl afecten:

- L'estructura: al descomposar-se alliberen Ca^{2+} i Mg^{2+} que mantenen floculades les argiles.
- L'activitat biològica: A l'evitar l'acidificació.
- La capacitat d'emmagatzematge de nutrients: els ions Ca^{2+} i Mg^{2+} s'apropien del complex de canvi i provoca el desplaçament d'altres cations amb el conseqüent risc de pèrdua i empobriment.
- L'assimilabilitat dels elements essencials:
 - Actuen com esmorteïdores de l'acidificació ja que consumeixen ions H^+ .
 - Alguns nutrients són insolubles a determinats pH bàsics, per exemple el Fòsfor.

Així doncs, un sòl, necessita una certa reserva de carbonats per tenir unes bones característiques estructurals però no és convenient que sigui excessiva ja que llavors afectarà la capacitat nutricional. També cal comentar que un sòl amb un nivell baix de carbonats també pot ser agronòmicament bo si posseeix un complex de canvi amb suficient Ca^{2+} i Mg^{2+} i un pH que asseguri una estructura, una activitat biològica i una nutrició vegetal adequada.

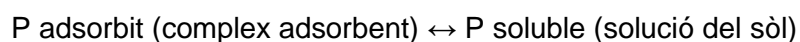
El contingut en carbonats d'un sòl s'expressa com si aquests fossin exclusivament carbonat càlcic (CaCO_3) i per aquest motiu es parla de carbonat càlcic equivalent (CCE). A la Taula 8 podem veure l'escala d'interpretació dels carbonats.

Taula 8: Qualificació del sòl segons el percentatge de carbonats (Serra, 2009).

Carbonats (%CCE)	Qualificatiu
<5	Molt baix
5-10	Baix
10-20	Normal
20-40	Alt
>40	Molt alt

3.2.2.4. Fòsfor

El fòsfor iònic (majoritàriament provinent de H_2PO_4^- i HPO_4^{2-}) es reparteix entre la solució aquosa i la fase sòlida del sòl, on es troba adsorbit a la superfície del complex humic argilós, dels col·loides d'òxid de ferro o d'alumini i dels carbonats. Entre el fòsfor retingut a aquests components i el dissolt en la solució del sòl s'estableix un equilibri d'intercanvi semblant al de l'intercanvi catiònic:



El complex humic argilós és elèctricament negatiu igual que els ions H_2PO_4^- i HPO_4^{2-} i per tan la retenció d'aquests es fa mitjançant cations polivalents com el Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} i Fe^{3+} .

Així doncs aquesta forma del fòsfor és el que es troba més o menys immediatament disponible per les plantes i en la retenció i fixació d'aquest hi intervenen els cations de calci, alumini i ferro.

El pH, el contingut d'argila, de matèria orgànica, d'òxids de ferro o d'alumini, de carbonats i l'activitat de la biomassa poden afectar a les formes de fòsfor i la seva disponibilitat (Saña, 1996).

Els nivells de fòsfor d'un sòl es poden interpretar depenent del mètode amb el qual s'ha analitzat (Taula 9).

Taula 9: Interpretació del fòsfor assimilable del sòl segons el mètode Olsen (Saña, 1996).

Qualificació	Mètode Olsen (mg P/kg sòl)
Molt baix	<5
Baix	5-10
Correcte	10-18
Alt	18-25
Excessiu	>25

Tot i així cal tenir en compte el complex adsorbent a l'hora d'interpretar els resultats ja que el fòsfor lligat a aquest és el més fàcilment assimilable per la vegetació. D'aquesta manera sovint es relaciona el fòsfor amb la capacitat d'intercanvi catiònic, l'argila o la textura del sòl. Relacionar-lo amb la capacitat d'intercanvi catiònic no és del tot correcte ja que pot donar errors pel fet que aquesta no té en compte els òxids de ferro i alumini i que poden constituir gran part del complex adsorbent del fòsfor.

La forma més correcta d'interpretar el fòsfor assimilable és relacionant-lo amb el percentatge d'argiles (Taula 10).

Taula 10: Diagnosi de fertilitat del sòl en funció del fòsfor i del percentatge d'argila segons el mètode Dyer per sòls àcids. Fòsfor expressat en mg P/kg sòl (Saña, 1996).

Nivell de fertilitat	Grup textural		
	<12% argila	12-22% argila	>22% argila
Molt baix	<35	<45	<55
Baix	35-55	45-70	55-90
Correcte	55-90	70-120	90-145
Alt	90-110	120-140	145-175
Molt alt	>110	>140	>175

3.2.2.5. Capacitat d'intercanvi catiònic

La capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) és una propietat molt important del sòl, ja que incideix en moltes de les seves propietats i en el seu comportament. Aquesta deriva de l'existència de càrrega elèctrica negativa al sòl.

Expressa la capacitat total d'una massa de sòl per a adsorbir de forma reversible ions hidratats de signe contrari (adsorció positiva) i excloure els anions (adsorció negativa, generalment no tinguda en compte), de manera que es compleix el principi d'electroneutralitat en el sistema, en unes condicions donades de temperatura, pressió, composició de la fase líquida (pH) i relació massa-solució (Porta et al., 2009).

Els cations intercanviables són els cations hidratats que intervenen en les reaccions de superfície (reaccions d'intercanvi iònic) reversibles. Aquests cations neutralitzen les càrregues del canviador i entren a formar part de complexos d'esfera externa i complexos de doble capa.

Els cations intercanviables més importants des d'un punt de vista quantitatiu són: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ en sòls bàsics i Al^{3+} en sòls àcids. La composició del complex de canvi varia segons la classe de sòl de què es tracti.

Així doncs, de forma simplificada la CIC es podria definir com la suma dels cations intercanviables obtinguts mitjançant una solució d'extracció.

$$\text{CIC} = \sum (\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{K}^+, \text{Na}^+, \text{Al}^{3+}, \dots)$$

Quan les partícules sòlides del sòl entren en contacte amb la solució aquosa d'aquest, les espècies iòniques presents en la fase líquida poden ser captades per la fase sòlida, alliberant-se a la vegada altres ions que inicialment es trobaven associats a aquesta última: és l'anomenat fenomen d'intercanvi iònic. Agronòmicament s'ha donat més importància a l'intercanvi de cations per això ens centrem amb l'intercanvi catiònic. Aquest és important perquè afecta al moviment i a la retenció de cations del sòl, a la nutrició de les plantes, al poder de recuperació del sòl, al seu pH potencial i a la capacitat amuntegadora.

El responsable de l'intercanvi catiònic és el *complex de canvi*, constituït en essència per les argiles i la matèria orgànica humificada. El *complex de canvi* posseeix càrrega negativa, la qual cosa li permet retenir en la seva superfície cations: la quantitat total de cations que pot subjectar el complex de canvi rep el nom de capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) (Serra, 2009).

La capacitat d'intercanvi catiònic es classifica en diferents classes segons el seu valor (Taula 11).

Taula 11: Classificació de la CIC (Badía, Martí, 1999).

Classe	CIC (meq/100g)
Molt alta	>40
Alta	26-40
Mitja	13-25
Baixa	6-12
Molt baixa	<6

3.2.2.6. Calci, Sodi, Potassi i Magnesi

El potassi (K^+), el magnesi (Mg^{2+}), el calci (Ca^{2+}), el sodi (Na^+) i altres oligoelements essencials per les plantes també reben el nom d'elements intercanviables ja que estan implicats en l'intercanvi catiònic.

Els cations K^+ , Ca^{2+} i Mg^{2+} a efectes agronòmics poden distribuir-se en quatre fraccions: els cations de la solució aquosa del sòl els quals són assimilables immediatament per les plantes; els cations intercanviables que es troben a les parts externes o internes del complex húmic argilós; els cations fixats entre les lamines d'algunes argiles i finalment els cations que constitueixen la biomassa i minerals primaris.

Pel què fa els resultats obtinguts en l'anàlisi d'aquests cations s'accepta que correspon a les quantitats reals que estan a disposició de les plantes.

Existeix una bona correlació entre la quantitat de l'element assimilat per la planta i el contingut intercanviable del sòl. Es parla de proporcions ideals al complex de canvi de: 65-85% de Ca^{2+} , 6-12% de Mg^{2+} i 2-5% de K^+ . Amb aquestes proporcions la saturació del complex de canvi que s'aconsegueix permet al sòl aconseguir una bona estructura i un pH que permet la solubilitat de la majoria de nutrients (Saña, 1996). Per interpretar valors d'aquests cations obtinguts al sòl sovint es té en compte la CIC (Taula 12).

Taula 12: Escala de diagnòstic dels cations d'intercanvi en funció de la CIC (Saña, 1996).

Capacitat d'intercanvi catiónic (CIC)	meq K ⁺ /100g	meq Mg ²⁺ /100g	meq Ca ²⁺ /100g	Classe de fertilitat
< 10 meq/100g sòl	<0,04	<0,04	<0,50	Molt baix
	0,04-0,08	0,04-0,08	0,50-1,00	Baix
	0,08-0,15	0,08-0,20	1,00-2,50	Correcte
	0,15-0,25	0,20-0,50	2,50-4,00	Alt
	>0,25	>0,50	>4,00	Excessiu
10-20 meq/100g sòl	<0,13	<0,16	<2,5	Molt baix
	0,13-0,26	0,16-0,33	2,50-5,00	Baix
	0,26-0,45	0,33-0,66	5,00-8,00	Correcte
	0,45-0,77	0,66-1,48	8,00-12,00	Alt
	>0,77	>1,48	>12,00	Excessiu
>20 meq/100g sòl	<0,19	<0,25	>5,00	Molt baix
	0,19-0,38	0,25-0,50	5,00-10,00	Baix
	0,38-0,77	0,50-1,00	10,00-15,00	Correcte
	0,77-1,28	1,00-2,50	15,00-20,00	Alt
	>1,28	>2,50	>20,00	Excessiu

Pel què fa el sodi quan aquest ocupa la major part del complex húmic argilós és incapaç de mantenir-se flocculant i es dispersa deteriorant l'estructura del sòl. Podem interpretar els valors de sodi segons la Taula 13.

Taula 13: Interpretació segons el contingut de sodi (Life boscos, Cime, 2010).

meq Na ⁺ /100g de sòl	Interpretació
0,217-0,435	Normal
0,435-0,870	Normal-Alt
>0,870	Alt

3.2.2.7. Textura

La textura és la proporció relativa en pes de cada una de les partícules de diferents mides per la qual està constituïda la fracció mineral del sòl. La textura es refereix a la terra fina, que inclou les partícules de diàmetre inferior a 2 mm (Serra, 2009).

L'agrupació de les partícules en funció de la mida i els resultats expressats en percentatge (sorra, llim i argila), permet establir diferents classes texturals del sòl.

La proporció de cada fracció es determina mitjançant l'anàlisi granulomètrica o mecànica, prèvia separació de la fracció superior a 2 mm i eliminació de la matèria orgànica. Posteriorment, els resultats de l'anàlisi es presenten generalment mitjançant diagrames triangulars en que es defineixen les diferents classes texturals del sòl (Figura 3). La nomenclatura de les classes texturals pot ser modificada quan al sòl hi són abundants les graves (2-60 mm), els còdols (60-250 mm) o els blocs de mida superior a 200 mm; en aquests casos s'afegeix a la denominació textural l'adjectiu que correspon a aquestes fraccions.

L'anàlisi textural d'un sòl dona poca informació directe i la indirecta que proporciona cal utilitzar-la amb prudència ja que és una característica intrínseca i altres propietats del sòl hi estan relacionades. Les partícules del sòl no es troben aïllades sinó que s'agrupen per constituir unitats individualitzades de mida més gran o unitats estructurals que seran les que realment condicionaran el comportament el sòl. Així doncs, dos sòls de la mateixa textura poden tenir comportament diferent a causa de diferent contingut en matèria orgànica, diferent tipus d'argila i per diferent percentatge en elements grollers (Serra, 2009).

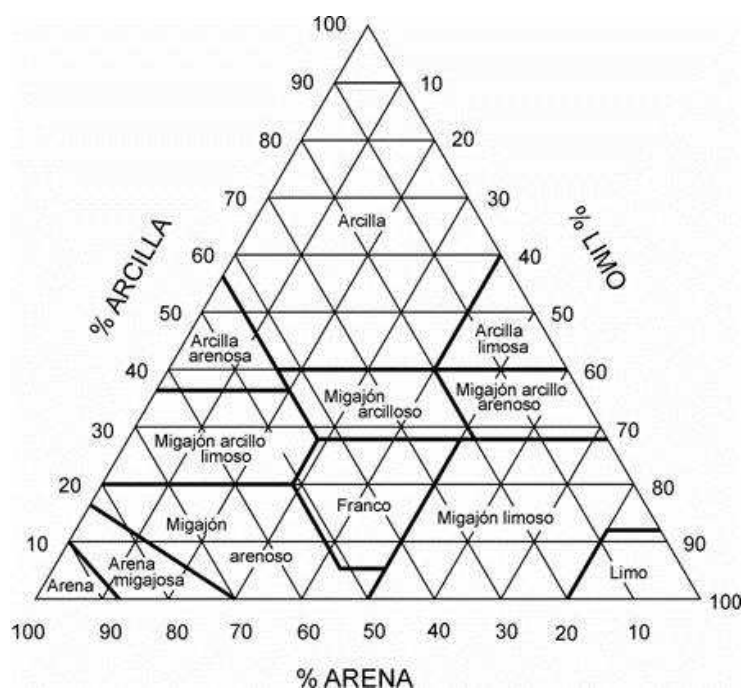
Per establir la classificació granulomètrica dels sòls es té en compte la proporció dels diferents fraccions minerals del sòl. Un dels sistemes més utilitzats és el sistema de l'USDA¹ (Taula 14 i Figura 3).

¹ USDA: United States Department of Agriculture

Taula 14: Classificacions granulomètriques de l'USDA (Serra, 2009).

SISTEMA	FRACCIONS	DIÀMETRE (μm)
USDA Simple	Sorra USDA Llim USDA Argila	$50 < \emptyset < 2000$ $2 < \emptyset < 50$ $\emptyset < 2$
USDA	Sorra gruixuda USDA Sorra fina USDA Llim USDA Argila	$500 < \emptyset < 2000$ $50 < \emptyset < 500$ $2 < \emptyset < 50$ $\emptyset < 2$
USDA Completa	Sorra molt gruixuda USDA Sorra gruixuda USDA se Sorra mitjana USDA Sorra fina USDA se Sorra molt fina USDA Llim USDA Argila	$1000 < \emptyset < 2000$ $500 < \emptyset < 1000$ $250 < \emptyset < 500$ $100 < \emptyset < 250$ $50 < \emptyset < 100$ $2 < \emptyset < 50$ $0 < 2$

Figura 3: Triangle de textura segons sistema USDA (Porta et al., 1994)



A la taula 15 es detallen les avantatges i/o inconvenients que li aporten al sòl les diferents fraccions granulomètriques.

Taula 15: Característiques del sòl segons fracció predominant (Porta et al., 1994).

FRACCIÓ PREDOMINANT	CARACTERÍSTIQUES SÒL
GROLLERS	Reducció de la cohesió Increment de la permeabilitat Reducció de l'erosió Augment de la pedregositat del sòl Dificultat al moviment de la fauna Escassa capacitat de retenció d'aigua Deformacions en el creixement d'arrels grosses.
SORRA	Elevada macroporositat Elevada permeabilitat Poca inèrcia tèrmica Escassa retenció d'humitat Risc d'erosió eòlica elevat en disminuir la mida de partícula.
LLIMS	Fertilitat física deficient Risc d'encrostant superficial Baixa velocitat d'infiltració i permeabilitat Elevada inestabilitat estructural Erosionabilitat elevada
ARGILA	Fertilitat química elevada, segons la minerologia Superfície específica elevada CIC elevada, segons la minerologia Capacitat de retenció d'aigua elevada Permeabilitat baixa Microporositat elevada Elevada compacitat Dificultat al treball agrícola Elevada inèrcia tèrmica Dificultat a la penetració de les arrels.

4. ÀREA D'ESTUDI

El parc nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici va ser declarat en aquest nivell de protecció l'any 1955 (Decret de 21 d'octubre de 1955). Té una extensió de 40.850 ha (14119 ha de Parc Nacional, 26730 ha de zona perifèrica). Inclou varis municipis de la província de Lleida com La Vall de Boí, Vallter, Espot, Alt Àneu, Esterri d'Àneu, la Guingueta d'Àneu, Sort, la Torre de Cabdella, Salardú, Vielha.

Durant el darrers 30 anys s'han minimitzat les actuacions sobre el territori (extracció de fusta, ramaderia, obra pública...). Per aquest motiu resulta un espai idoni per a documentar el procés de reforestació natural de *Pinus uncinata* a l'estatge subalpí des de la dècada dels 50 fins l'actualitat i preveure els escenaris de futur més probables.

A partir de fotografies aèries del vol del 1956 rectificades fins a transformar-les en ortoimatge i les ortofotos digitals amb píxel de 50 cm de costat de l'any 2008 es va fer una fotointerpretació amb el SIG Arc/Info a una escala aproximada d'1:5.000 per a detectar els canvis ocorreguts en la coberta de vegetació subalpina. En els espais on hi havia hagut reforestació es va fer una selecció de 29 parcel·les per a estudiar les característiques d'aquesta reforestació. Aquestes parcel·les es troben distribuïdes arreu del Parc Nacional (inclosa la zona perifèrica) i es troben situades a la part baixa-mitja de l'estatge subalpí entre els 1600 m i els 2200 m d'altitud. L'estudi de camp s'ha portat a terme durant 3 anys, de l'any 2007 a l'any 2009, entre els mesos de juliol, agost i setembre donat que és la millor època per a identificar i avaluar el desenvolupament de les diferents espècies.

4.1. Característiques de les parcel·les estudiades

Les 29 parcel·les estudiades estan distribuïdes entre la zona estricta del Parc Nacional i la zona perifèrica: Concretament 14 estan situades a la zona d'Espot, 9 a la Vall de Boí i 6 a la Vall d'Aran (Figura A1.1 de l'Annex 1). Gairebé el 65 % de les localitats es troben a la part alta de l'estatge subalpí, per sobre dels 1.900 m. La parcel·la més alta es troba a 2.230 m i la més baixa a 1.650 m (Figura 4).

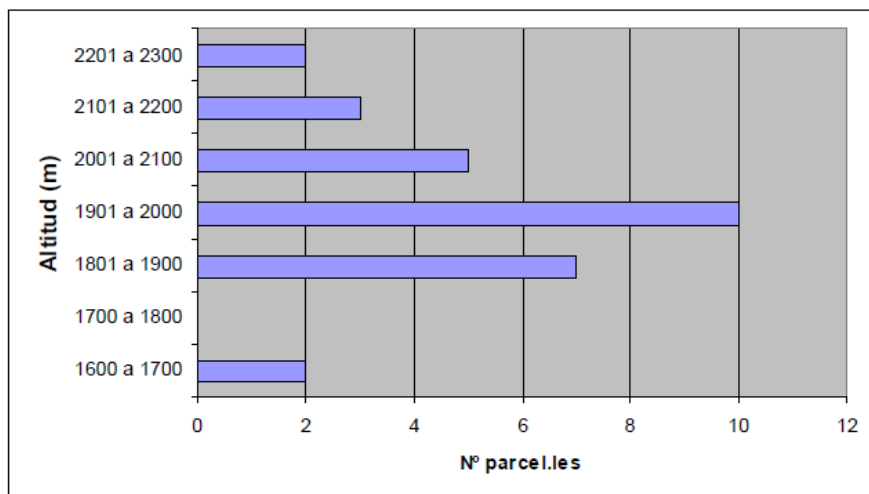


Figura 4 : Altitud de les parcel·les mostrejades. (Carrillo et al., 2010)

Un 50% de les parcel·les corresponen a orientacions més o menys obagues (de NW a NE), i la resta es reparteixen entre solells i vessants intermedis. La majoria de parcel·les s'ubiquen en vessants de pendents forts ($> 20^\circ$) i només quatre es troben en zones planeres (Figura 5). Pel que fa al substrat, predomina el granit (17 parcel·les) i la resta es troben sobre esquists (7 parcel·les) i sobre calcoesquists (5 parcel·les).

A la Taula A1.1 de l'Annex 1 es detallen les característiques de les 29 parcel·les mostrejades.

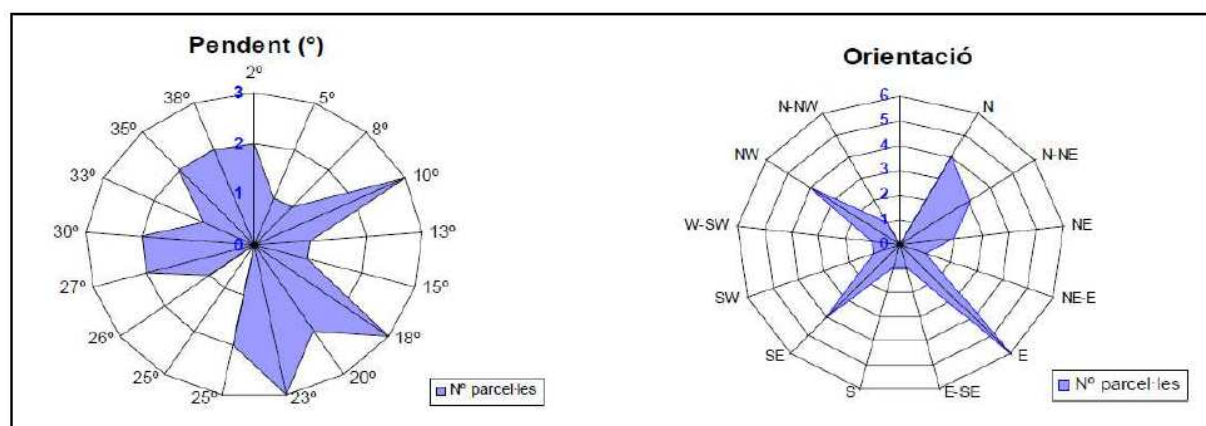


Figura 5: Pendent i orientació de les parcel·les mostrejades (Carrillo et al., 2010)

5. MATERIAL I MÈTODES

5.1. Recollida de mostres

Com ja hem dit anteriorment s'han seleccionat 29 parcel·les. Cada parcel·la estudiada fa 314 m² i correspon a una superfície circular de 10 m de radi.

De cada parcel·la s'han recollit dues mostres de sòl: una mostra superficial, de 0 a 5 cm de profunditat, una altra de 5 a 15 cm de profunditat. Les mostres s'han extret de 4 punts de la parcel·la, situats a la part central dels 4 radis corresponents als punts cardinals (N, S, E i W). A partir de les mostres recollides en aquests 4 punts s'obté una mostra composta per cada profunditat. Així doncs el total de mostres obtingudes ha estat de 58.

Aquestes mostres s'han extret mitjançant una barrina metàl·lica Eijelkamp i s'han guardat en bosses de plàstic correctament enumerades i s'han transportat cap al laboratori.

Cada parcel·la mostrejada s'ha caracteritzat segons: nom de l'estació, coordenades UTM, altitud, orientació, pendent, posició fisiogràfica i tipus de substrat (Taula A1.1 de l'Annex 1).

5.2. Preparació de les mostres

Les mostres extretes s'han deixat assecar a l'aire i una vegada seques s'han desfet els terrossos més grans amb les mans i amb un curró. A continuació s'han tamisat amb un sedàs de 0,2 cm llum. Amb això hem obtingut dues fraccions: les graves i la terra fina que ens servirà per fer les analítiques.

Les dues fraccions obtingudes s'han emmagatzemat en recipients tancats i ben identificats.

5.3. Anàlisi de les mostres

Els paràmetres analitzats de les mostres dels dos horitzons considerats han estat el nitrogen total, la matèria orgànica, el carboni oxidable, el pH, l'acidesa de reserva, el fòsfor total, el magnesi, el potassi, el calci, el sodi i la capacitat d'intercanvi catiònic. Per les mostres de l'horitzó inferior (5-15 cm) s'ha analitzat també la textura.

Els mètodes analítics utilitzats per determinar cadascun d'aquests paràmetres es detallen a la taula 16.

Taula 16: Mètodes analítics per la determinació dels paràmetres estudiats.

PARÀMETRE	MÈTODE
pH	- Amb aigua - Amb clorur de potassi (KCL) Segons característiques de la mostra s'ha fet dil·lució 1:5 o 1:2'5.
Carboni oxidable	- Mètode Walkley y Black
Nitrogen total	- Mètode Kjeldahl
Matèria orgànica	- A partir del Carboni oxidable multiplicat pel coeficient de Waksman.
Acidesa d'intercanvi, Capacitat d'intercanvi catiónic i bases extractables (Ca, Mg, K, Na)	- Mètodes de Mehlich (1948) amb modificacions aportades per Lax et al. (1986).
Fòsfor	- Mètode Olsen- Watanable
Textura	- Per gravimetria i classificació seguint nomenclatura USDA.

Les analítiques s'han realitzat als laboratoris del SART de la Universitat de Vic, excepte les analítiques de textura i matèria orgànica de les mostres de 5-15 cm que s'han analitzat al laboratori Applus (Sidamon - Lleida).

5.4. Anàlisi de les dades

Per avaluar les diferències entre les característiques fisicoquímiques dels sòls entre els dos horitzons considerats (0-5 cm i 5-15 cm) i entre els diferents tipus de substrat, s'ha aplicat una anàlisi de la varianza (ANOVA) d'un factor. Per l'anàlisi detallada de les diferències entre els factors considerats s'ha realitzat una comparació múltiple a posteriori mitjançant el test de Duncan, considerant el nivell de significació $p < 0,05$. Prèviament es va aplicar el test de Kolmogorov-Smirnov per comprovar que les variables seguien una distribució normal, condició necessària per a la realització de l'anàlisi de la varianza.

L'anàlisi de la relació entre els diferents paràmetres fisicoquímics analitzats s'ha fet mitjançant la correlació bivariada de Pearson.

Totes aquestes anàlisis estadístiques s'han fet mitjançant el programa SPSS vs. 17.0. i s'han utilitzat les variables originals.

6. RESULTATS I DISCUSSIÓ

A la Taula 17 es resumeixen les característiques dels sòls dels boscos joves de pi negre estudiats de l'estatge subalpí del Parc Nacional d'Aigüestortes i Sant Maurici i a l'Annex 1 es detallen els resultats obtinguts en les anàlisis fisicoquímiques dels sòls de cadascuna de les parcel·les estudiades.

Taula 17: Mitjana i desviació estàndard dels paràmetres analitzats en els dos horitzons superiors del sòl. Entre parèntesi valors mínim i màxim. p-valor: significació de l'anàlisi de la variança d'un factor per l'anàlisi de les diferències entre els dos horitzons.

PARÀMETRES	PROFUNDITAT			p-valor
	Horitzó 0-15 cm	Horitzó superficial 0-5 cm	Horitzó subsuperficial 5-15 cm	
pH (H ₂ O)	5,10 ± 0,48 (4,13-6,15)	5,15 ± 0,47 (4,39-5,98)	5,05 ± 0,49 (4,13-6,15)	0,436 (n.s)
Acidesa de reserva	0,84 ± 0,17 (0,53-1,33)	0,77 ± 0,13 (0,53-1,06)	0,92 ± 0,17 (0,61-1,33)	0,001
% N	0,66 ± 0,31 (0,21-1,18)	0,82 ± 0,29 (0,24-1,48)	0,5 ± 0,24 (0,21-1,18)	0,000
% COX	10,34 ± 5,62 (3,35-27,29)	13,21 ± 5,97 (3,51-27,29)	7,47 ± 3,42 (3,35-16,23)	0,000
% M.O	17,79 ± 9,67 (5,76-46,93)	22,72 ± 10,27 (6,04-46,93)	12,85 ± 5,87 (5,76-27,92)	0,000
C/N	15,64 ± 3,77 (8,50-27,29)	16,06 ± 4,55 (8,50-27,29)	15,22 ± 2,80 (8,83-21,32)	0,403 (n.s)
P mg/kg	6,92 ± 3,15 (2,10-15,30)	8,60 ± 3,16 (2,08-15,30)	5,24 ± 2,08 (2,21-10,99)	0,000
K meq/100g	0,46 ± 0,22 (0,16-1,26)	0,58 ± 0,22 (0,30-1,26)	0,34 ± 0,14 (0,16-0,90)	0,000
Mg meq/100g	0,77 ± 0,34 (0,29-1,56)	0,98 ± 0,33 (0,37-1,55)	0,57 ± 0,20 (0,29-1,09)	0,000
Ca meq/100g	2,60 ± 2,51 (0,048-12,14)	3,53 ± 2,62 (0,48-12,14)	1,66 ± 2,05 (0,05-10,05)	0,004
Na meq/100g	0,089 ± 0,07 (0,014-0,45)	0,12 ± 0,08 (0,03-0,45)	0,06 ± 0,04 (0,01-0,18)	0,000
CIC meq/100g	3,94 ± 2,87 (0,65-14,28)	5,22 ± 2,91 (1,39-14,28)	2,65 ± 2,21 (0,65-11,20)	0,000

6.1. Textura

Els sòls desenvolupats sobre granit tenen majoritàriament textura franco-arenosa, en alguns casos és franca i només en una parcel·la la textura és franco-argilo-arenosa. Sobre els esquists els sòls tenen textura franca i franco-arenosa i sobre els calcoesquists la textura del sòl és franca i franco-llimosa (Taula A1.1 de l'Annex 1 i A2.2 de l'Annex 2).

6.2. Acidesa del sòl

Els sòls de les parcel·les estudiades presenten un pH al voltant de 5 tant en el nivell superficial (0-5 cm) com en el subsuperficial (5-15 cm) (Taula 17). No hi ha diferències significatives entre els horitzons ni segons el tipus de substrat. Entre les diferents parcel·les estudiades el pH tampoc varia significativament (Taula A2.1 de l'Annex 2).

Podem dir doncs que es tracta de sòls fortament àcids (J. Porta, et al. 1994) la qual cosa explica l'absència de carbonat càlcic en aquests sòls.

Amb aquests valors de pH la solubilitat de la majoria de minerals del sòl serà bona i en conseqüència tindran una bona disponibilitat (Figura 2 de l'apartat 3.2.2.1).

L'acidesa de reserva varia significativament ($p < 0.05$) entre els dos horitzons amb una mitjana de 0,77 a l'horitzó superior (0-5 cm) i de 0,92 a l'horitzó inferior (5-15 cm). A l'horitzó de 5-15 cm entre els sòls amb substrat de calcoesquist i esquist també hi ha diferències significatives ($p < 0.05$) (Figura 6). La diferència entre el pH en H_2O i el pH en KCl en general és d'entre 0.5 i 1 unitat excepte en algunes parcel·les que és superior a 1 (Taula A2.1 de l'Annex 2). Aquests valors d'acidesa de reserva ens indiquen que el sòl està dessaturat i pot tenir tendència a l'acidificació (Úbeda, Sala, 1995).

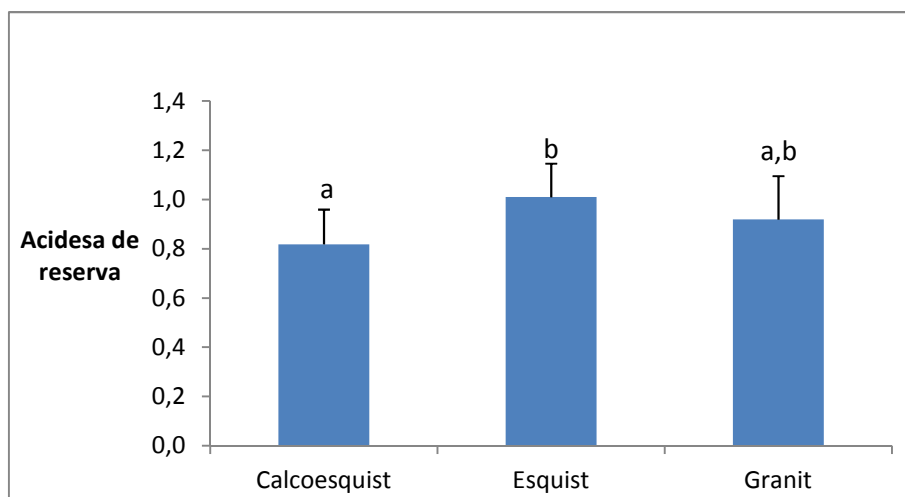


Figura 6: Acidesa de reserva del nivell subsuperficial (5-15 cm) dels sòls en diferents tipus de substrat. Mitjana i desviació estàndard dels sòls de les parcel·les de cada substrat. Les lletres diferents (a i b) indiquen diferències significatives ($p < 0.05$; test de Duncan)

6.3. Matèria orgànica

El contingut de matèria orgànica dels sòls dels boscos de pi negre estudiats és molt alt, i varia significativament ($p < 0.05$) entre els dos horitzons considerats (0-5 cm i 5-15 cm) i a cada horitzó entre les diferents parcel·les (Taula 17).

L'horitzó orgànic superficial (0-5 cm) té una mitjana de 22,72% de matèria orgànica, i varia entre uns límits força amplis, des del valor mínim del 6,05% a la parcel·la 15 situada a la part superior del vessant a la Creu de l'Eixol a 2143 m d'altitud i d'orientació sud, fins al valor màxim del 46,93% que presenta la parcel·la 23 situada a mig vessant del camí dels Colomers a 1945 m d'altitud i d'orientació est (Taula A2.3 de l'Annex 2).

A l'horitzó subsuperficial (5-15 cm) disminueix el contingut de matèria orgànica fins a una mitjana de 12,85% (Taula 17).

A l'horitzó superior (0-5 cm) el contingut de matèria orgànica varia significativament ($p < 0,05$) segons el tipus de substrat, essent els sòls de les parcel·les situades sobre granit els que tenen el contingut més alt (mitjana 27,24%) i les parcel·les situades sobre esquists els continguts més baixos (mitjana de 15,61%) (Figura 7).

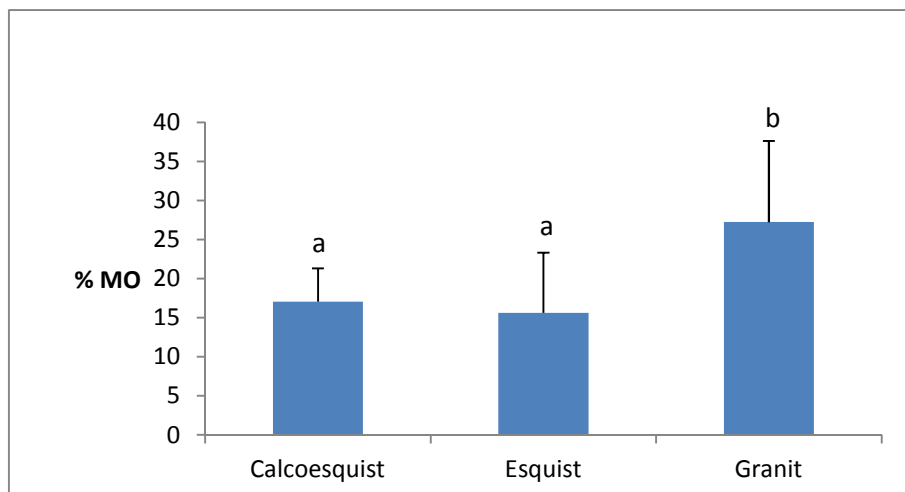


Figura 7: Contingut de matèria orgànica (MO) de l'horitzó superficial del sòl (0-5 cm) en els diferents tipus de substrat. Mitjana i desviació estàndard dels sòls de les parcel·les de cada substrat. Les lletres (a i b) diferents indiquen diferències significatives ($p < 0.05$; test de Duncan).

A l'horitzó de 5-15 cm el contingut de matèria orgànica no varia significativament segons el tipus de substrat.

L'horitzó superior (0-5 cm) és el que rep la matèria orgànica de la vegetació de la zona i per tant és lògic que presenti valors més alts. A més, en zones d'alta muntanya, les baixes temperatures determinen que la descomposició de la matèria orgànica sigui lenta i aquesta persisteix molt més temps a l'horitzó superior (León, A., et al. 2010).

Els resultats obtinguts constaten la variabilitat que hi ha en el contingut de matèria orgànica dels sòls forestals. La variació que hi ha en els sòls estudiats coincideix amb els resultats obtinguts per Egido, J.A., et al. (1979) en boscos de pins de la regió centre-oest d'Espanya, en els quals hi ha entre un 3,18% i 13% de matèria orgànica.

Així doncs pels resultats obtinguts de matèria orgànica i tenint en compte la Taula 5 de l'apartat 3.2.2.2 parlem de sòls orgànics de bona qualitat.

A l'horitzó de 5-15 cm la matèria orgànica està correlacionada significativament i positivament amb el contingut d'argiles (Figura 8).

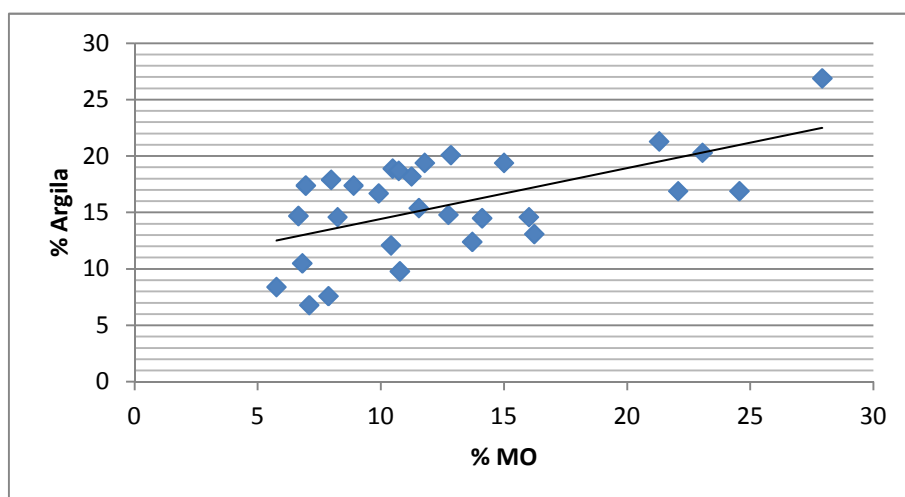


Figura 8: Regressió lineal entre els percentatges de matèria orgànica (MO) i d'argiles a l'horitzó de 5-15 cm ($r=0,590$; $\text{sig.} < 0,001$)

El 83% de les parcel·les estudiades a l'horitzó subsuperficial (5-15 cm) tenen entre un 5% i un 20% d'argiles i entre un 5% i un 17% de matèria orgànica.

6.4. Nitrogen total

El contingut de nitrogen dels sòls estudiats són elevats i són significativament ($p < 0,05$) superiors a l'horitzó superficial (0-5 cm) (Taula 17). Tant en l'horitzó superior com a l'inferior el contingut de nitrogen no varia significativament entre les diferents parcel·les estudiades ni tampoc segon el tipus de substrat.

Aquests valors obtinguts en el contingut de nitrogen són del mateix ordre que els que s'han obtingut en d'altres estudis fets en boscos de pins (Egido, J.A., et al. 1979).

El contingut de nitrogen varia entre horitzons, essent més elevat a l'horitzó superior (0-5 cm) ja que aquest prové de la matèria orgànica que és aportada a la superfície del sòl. Així doncs, a mesura que augmenta la profunditat disminueix el contingut de matèria orgànica i per tant també el de nitrogen.

El percentatge de nitrogen està altament correlacionat significativament i positivament amb la matèria orgànica (Figura 9) a tots els horitzons i a l'horitzó subsuperficial (5-15 cm) també ho està amb les argiles (Figura 10). Per tant els sòls més argilosos (% argila > 20%) són els que tenen continguts de nitrogen més alts (>0.80%).

El 66% dels sòls de les parcel·les estudiades tenen entre un 0,2 i 0,8% de nitrogen i entre un 5,7 i un 23% de matèria orgànica (Figura 9).

Aquest nivell de correlació és molt semblant a l'esmentat per autors com Badia D. i Martí, C. (1999) el quals és de 0,910.

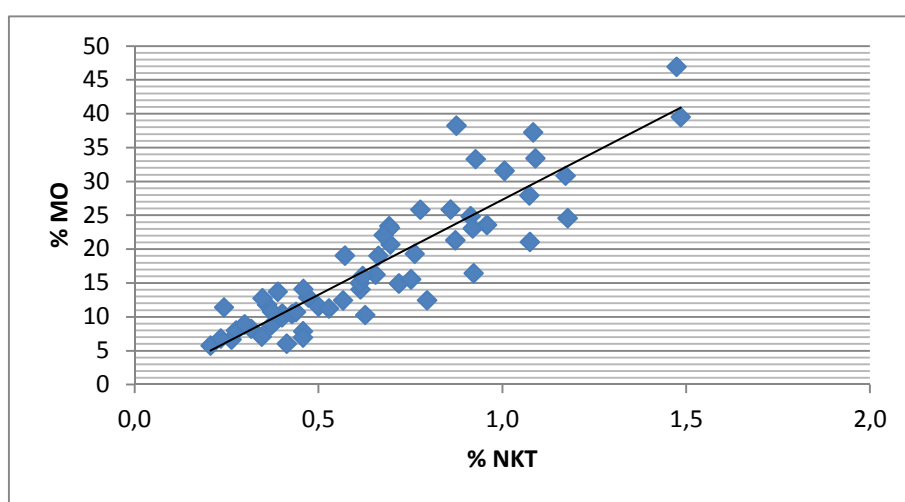


Figura 9: Regressió lineal entre els percentatges de matèria orgànica (MO) i de nitrogen (NKT) dels sòls de totes les parcel·les i per als dos horitzons ($r=0,894$; sig.< 0,001)

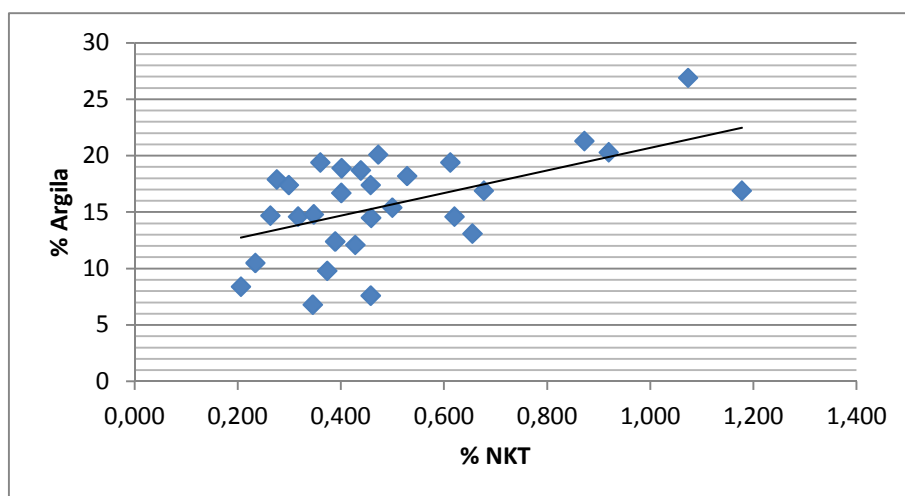


Figura 10: Regressió lineal entre els percentatges d'argila i de nitrogen (NKT) dels sòls de totes les parcel·les a l'horitzó de 5-15 cm ($r=0,542$; sig.< 0,002)

6.5. Relació C/N

La relació C/N dels sòls estudiats és alta (Taula 17) i hi ha diferències significatives ($p < 0,05$) entre les parcel·les en cadascun dels horitzons considerats. En el nivell superior (0-5 cm), tot i haver-hi més variabilitat entre les parcel·les gairebé totes tenen una relació C/N superior a 12 i només hi ha 5 parcel·les en les quals la relació C/N pren valors entre 8 i 12, les quals coincideixen en que es troben sobre esquistos i calcoesquistos.

En l'horitzó inferior (5-15 cm) la relació C/N varia menys entre les parcel·les i a excepció de dues, totes tenen una relació C/N superior a 12 (Taula A2.3 de l'Annex 2). Aquests valors indiquen que es tracta de sòls amb una taxa de mineralització baixa on s'hi acumula una quantitat important d'humus.

En els dos horitzons considerats la relació C/N és significativament ($p < 0,05$) superior en els sòls desenvolupats sobre granit respecte dels sòls que hi ha sobre esquists (Figures 11 i 12). A l'horitzó de 5-15 cm, tot i ser significatives, les diferències són menors.

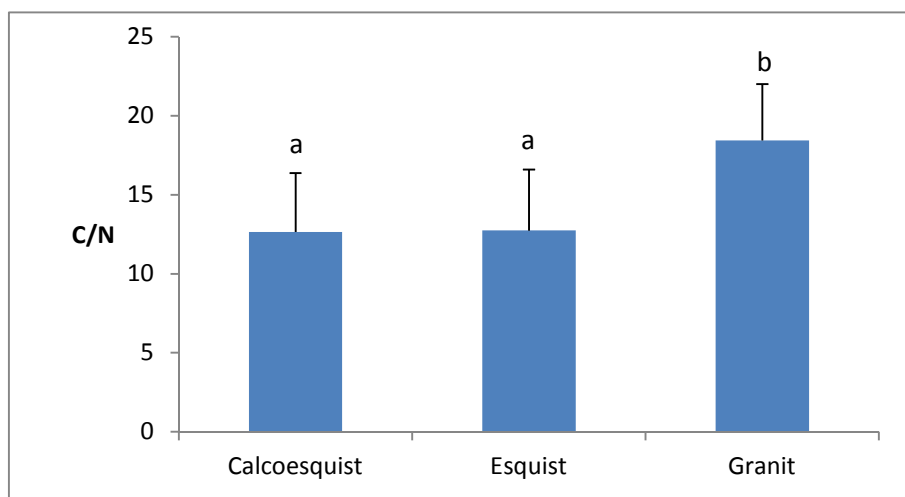


Figura 11: Relació C/N de l'horitzó superficial (0-5 cm) en els diferents tipus de substrat. Mitjana i desviació estàndard dels sòls de les parcel·les de cada substrat. Les lletres (a i b) diferents indiquen diferències significatives ($p < 0.05$; test de Duncan).

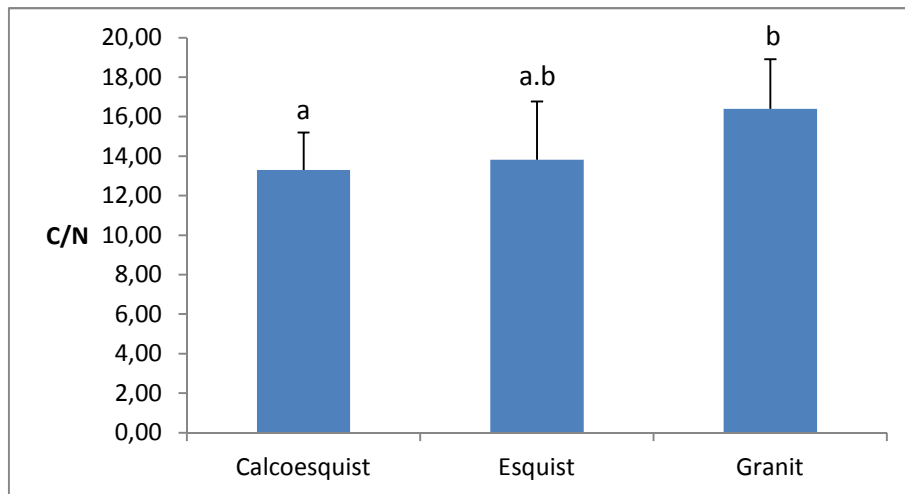


Figura 12: Relació C/N de l'horitzó subsuperficial (5-15 cm) en els diferents tipus de substrat. Mitjana i desviació estàndard dels sòls de les parcel·les de cada substrat. Les lletres (a i b) diferents indiquen diferències significatives ($p < 0.05$; test de Duncan).

Aquests valors de C/N són de l'ordre dels que s'han obtingut en altres estudis fets en boscos de pins (Egido, J.A., et al. 1979) on tenen valors entre 19 i 24.

La relació C/N ens informa de la qualitat de la matèria orgànica i permet identificar el tipus d'humus que hi ha en el sòl (Taula 6 de l'apartat 3.2.2.2). Els valors de la relació C/N de l'horitzó superior indiquen que es tracta majoritàriament de sòls amb humus de tipus moder. Hi ha però alguna parcel·la amb una relació C/N molt alta, i en aquest cas es tracta d'un humus tipus mor i altres amb una relació C/N molt baixa, que correspon a un humus tipus mull.

Els sòls de les parcel·les de granit, en els dos horitzons, són els que tenen la relació C/N més alta. Es tracta de sòls amb humus moder, el qual es forma quan el pH del sòl és molt àcid, com és en aquest cas i típic dels sòls de boscos de coníferes. A la resta de substrats els sòls tenen un humus tipus mull, el qual indica que l'activitat microbiana és bona i que es tracta d'un humus evolucionat. Tot i així observem que hi ha parcel·les on els sòls tenen una relació C/N superior a 25, com ara les parcel·les P3 i P21 (Taula A.2.3 de l'Annex 2). Aquests alts valors indiquen que la matèria orgànica té una baixa capacitat de descomposició i mineralització. Això pot ser degut a les baixes temperatures de la zona que fan alentir l'activitat dels microorganismes, de manera que no es neutralitzen els àcids orgànics del sòl, afavorint un pH àcid. Aquesta acidesa a més dificulta encara més l'activitat dels fongs i bacteris.

6.6. Fòsfor

El contingut de fòsfor dels sòls dels boscos de pi negre estudiats és baix (entre 5 i 10 mg P/kg sòl) tant a l'horitzó superior (0-5 cm) com en el inferior (5-15 cm) (Taula 17). Només en 7 de les parcel·les estudiades el contingut de fòsfor de l'horitzó superior del sòl és correcte (entre 10 i 18 mg P/kg sòl) (Taula A2.3 de l'Annex 2).

Si avaluem la fertilitat del sòl en funció del fòsfor i del percentatge d'argiles (segons la taula 10) observem que en totes les parcel·les estudiades el nivell de fertilitat del sòl és molt baix (majoria dels sòls tenen entre un 12 i un 22% d'argiles i el contingut de fòsfors és inferior a 45 mg P/kg) (Taules A2.2 i A2.3 de l'Annex 2).

El contingut de fòsfor varia significativament ($p < 0.05$) entre els horitzons considerats (Taula 17), essent superior a l'horitzó superficial (0-5 cm).

A la Figura 13 veiem que a l'horitzó subsuperficial (5-15 cm) els valors de fòsfor són pròxims a 5 mg/kg per qualsevol tipus de substrat. Mentre que a l'horitzó superior (0-5 cm), sobre els calcoesquist els sòls tenen una major quantitat de fòsfor (10,57 mg/kg) seguits dels de granit (8,35 mg/kg) i dels d'esquist (7,35 mg/kg).

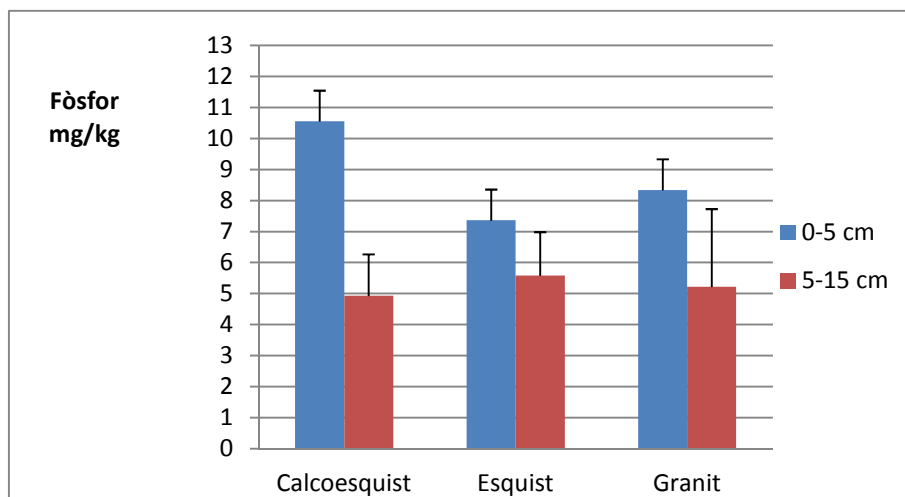


Figura 13: Contingut de fòsfor total dels dos horitzons del sòl (0-5 cm i 5-15 cm) en els diferents tipus de substrat. Mitjana i desviació estàndard dels sòls de les parcel·les de cada substrat.

En els sòls estudiats la correlació que es pot establir entre la matèria orgànica i el fòsfor és baixa ($r=0,420$) però és molt semblant a la que obtenen Badia i Martí (1999) en boscos de *Pinus sp.* del Pirineu Central on obtenen una correlació de $r=0,490$.

6.7. Calci, Sodi, Potassi i Magnesi

El contingut de cations disminueix significativament ($p < 0.05$) amb la profunditat independentment del tipus de substrat, essent la concentració més baixa dels diferents cations a l'horitzó 5-15 cm (Taula 17, Figures 14 i 15).

El contingut de potassi dels sòls estudiats és alt en els dos horitzons considerats (de 0-5 cm i de 5-15 cm) (Taula 17 i Figures 14 i 15). Tenint en compte que a la majoria de les parcel·les la CIC del sòl és inferior a 10 (apartat 6.8) es pot considerar que es tracta de sòls que tenen una fertilitat alta i en alguns casos fins i tot excessiva pel que fa al potassi (Taula 12).

La concentració de potassi disminueix en profunditat (Taula 17, Figures 14 i 15). A l'horitzó superior (0-5 cm) observem força variabilitat en valors que van des de 0,3 a 1,26 meq/100g (Taula 17). A l'horitzó inferior (5-15 cm) hi ha menys variabilitat i trobem valors que van des de 0,16 a 0,9 meq/100g (Taula 17), la majoria dels quals es troben entre 0,3 i 0,45 meq/100g (Taula A2.4 de l'Annex 2).

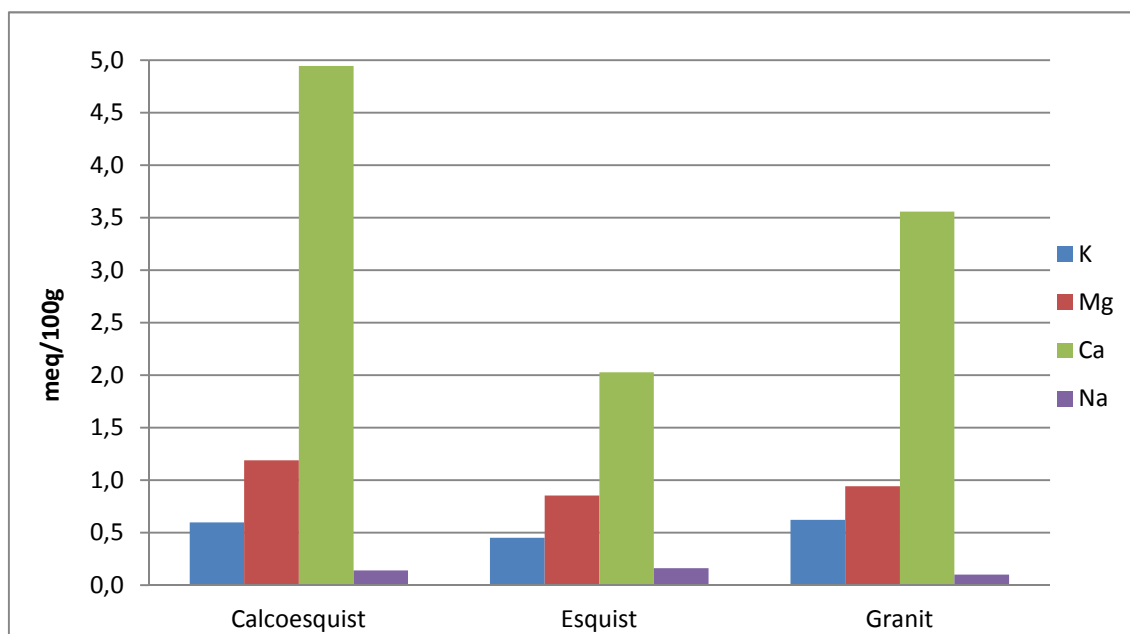


Figura 14: Mitjana del contingut de cations a l'horitzó superficial (0-5 cm) en els diferents tipus de substrat.

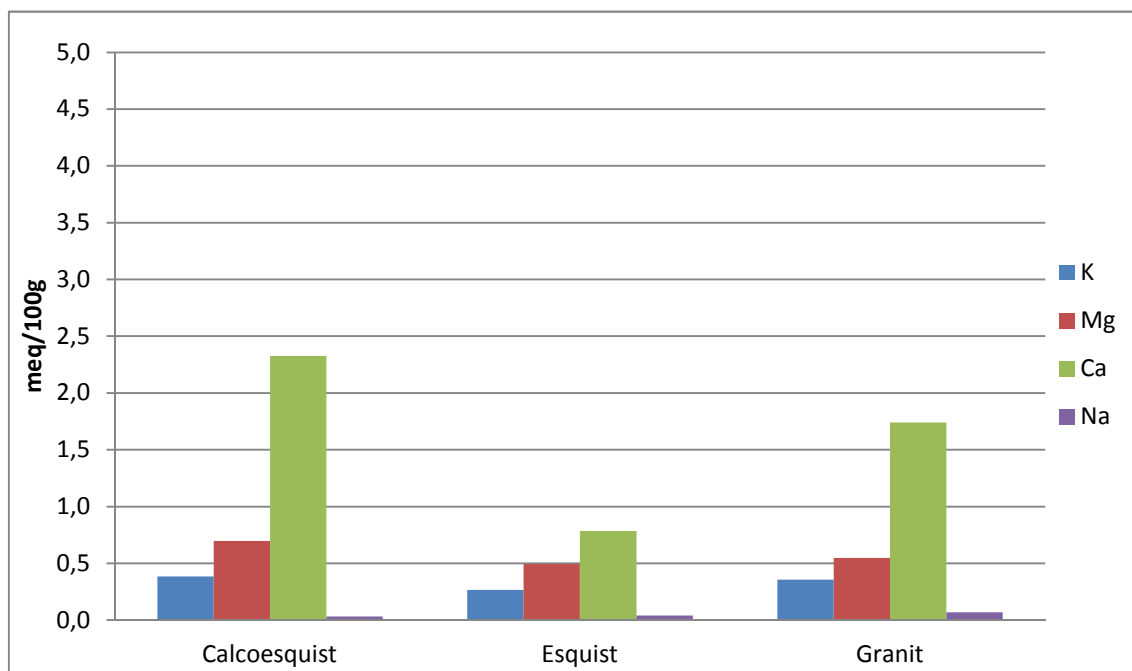


Figura 15: Mitjana del contingut de cations a l'horitzó subsuperficial (5-15 cm) en els diferents tipus de substrat.

El contingut de potassi del sòl està correlacionat significativament i positivament amb el percentatge de nitrogen (Figura 16) i també amb el percentatge de matèria orgànica (Figura 17) a tots els horitzons. Badia i Martí (1999) obtenen una correlació similar ($r=0,740$) entre el potassi i la matèria orgànica en sòls de boscos de *Pinus sp.* del Pirineu Central.

El 66% dels sòls estudiats tenen entre 0,16-0,6 meq/100g de potassi i 0,2-0,8% de nitrogen (Figura 16). Les parcel·les que es desvien més pertanyen totes a l'horitzó superficial (0-5 cm), en les quals hi ha continguts molt alts de potassi.

El 72% de les parcel·les es troben a l'interval de 5,7-25 % de matèria orgànica i 0,16-0,6 meq/100g de potassi (Figura 17).

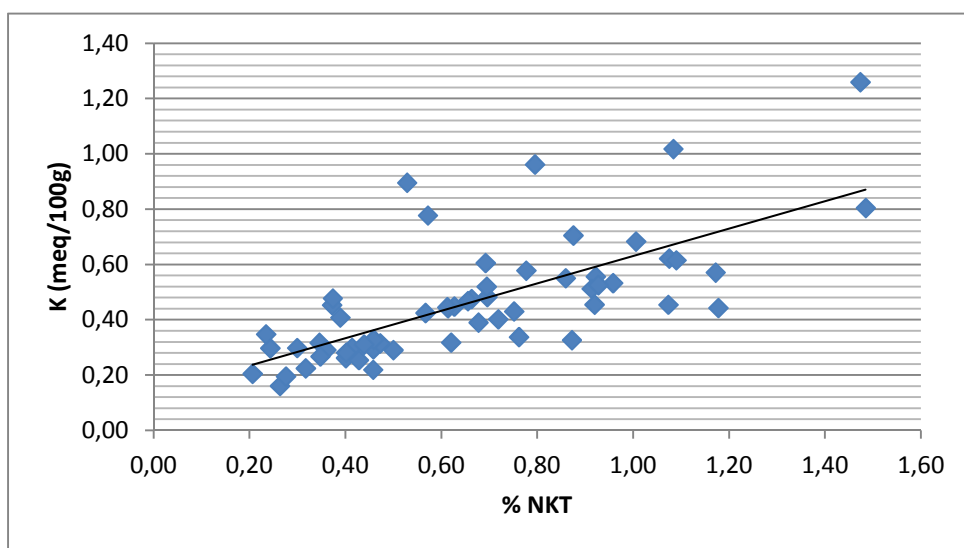


Figura 16: Regressió lineal entre els percentatge de nitrogen (NKT) i la concentració de potassi (K) dels sòls de totes les parcel·les i per als dos horitzons ($r=0,706$; sig. 0,000)

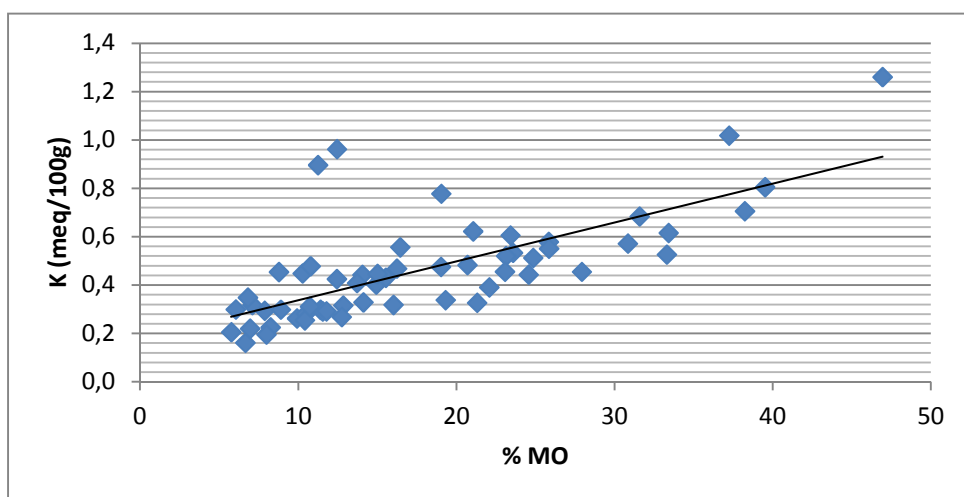


Figura 17: Regressió lineal entre els percentatge de matèria orgànica (MO) i la concentració de potassi (K) dels sòls de totes les parcel·les i per als dos horitzons ($r=0,719$; sig. 0,000)

El contingut de sodi en els sòls estudiats són baixos (Taula 17 i Figures 14 i 15) i disminueixen en profunditat. Al nivell superior (0-5 cm) trobem valors des de 0,03 a 0,45 meq Na/100g i al nivell inferior (5-15 cm) des de 0,01 a 0,18 meq Na/100g (Taula 17) tot i que en aquest horitzó inferior a la majoria de parcel·les els valors són inferiors a 0,1 meq Na/100g i només trobem 5 parcel·les en les quals la concentració de sodi és superior a aquest valor (Taula A2.4 de l'Annex 2).

El sodi està correlacionat positivament i significativament amb el nitrogen (Figura 18). A l'horitzó inferior el 66% de les parcel·les es troben dins l'interval de 0,2-0,55% de nitrogen total i 0,01-0,06 meq/100g de sodi (Figura 18). La parcel·la 27 situada a l'Era planola-2 a la part baixa del vessant (Taula A1.1 de l'Annex 1) és la que té valors més alts de sodi (0,236 meq Na/100g sòl; Taula A2.4 de l'Annex 2).

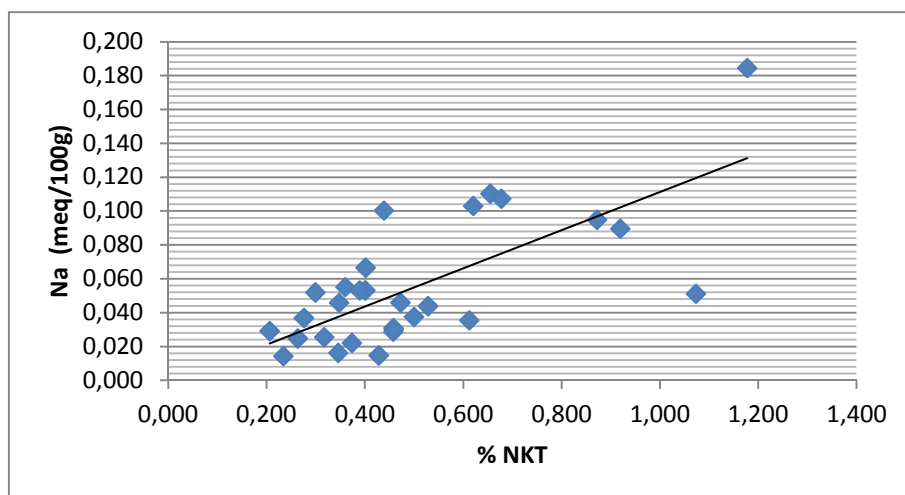


Figura 18: Regressió lineal entre els percentatge de nitrogen (NKT) i la concentració de sodi (Na) dels sòls de totes les parcel·les a l'horitzó de 5-15 cm ($r=0,711$; sig. 0,000)

La concentració de calci que trobem en aquests sòls disminueix en profunditat en totes les parcel·les excepte a la parcel·la P1. Les parcel·les amb major contingut de calci es troben sobre substrat de calcoesquist (Taula 17, Figures 14 i 15).

A l'horitzó superior (0-5 cm), a totes les parcel·les excepte en tres (P3, P15 i P21) el contingut de calci en el sòl és alt, amb valors superiors a 1 meq/100g (Taula A2.4 de l'Annex 2), tenint en compte que la CIC és baixa (<10 meq/100g) (Taula 12). En aquest horitzó trobem valors que van des de 0,48 fins a 12,14 meq calci/100g, i una mitjana de 3,53 meq/100g (Taula 17). Hi ha diferències significatives ($p<0,05$) entre les parcel·les d'esquist i les de calcoesquist, essent en aquestes darreres on hi ha els valors més alts (amb una mitjana de 4,94 meq/100g) i en les que hi ha sobre esquist és on el contingut de calci en el sòl és més baix (mitjana de 2,03 me/100g) (Figura 14).

A l'horitzó inferior (5-15 cm), tot i disminuir respecte l'horitzó superficial, el contingut de calci continua essent correcte o alt. A la majoria de parcel·les estudiades el contingut de calci en el sòl varia entre 0,048 i 2,457 meq calci/100g. Només en tres parcel·les el contingut de calci és superior a 2,5 meq/100g (Taula A2.4 de l'Annex 2).

El contingut de magnesi dels sòls estudiats és alt i tal com passa en la resta de cations la concentració de magnesi en el sòl disminueix en profunditat (Taula 17). Les parcel·les situades sobre calcoesquist són les que tenen els valors més alts (Figures 14 i 15).

A l'horitzó de 0-5 cm els valors de magnesi varien entre 0,366 i 1,555 meq magnesi/100g (Taula 17). Aproximadament el 50% de les parcel·les tenen valors superiors a 1 meq/100g i el 50% restant inferiors a aquest valor. A l'horitzó de 5-15 cm els valors són més baixos i varien des de 0,29 a 1,09 meq de magnesi/100g i només trobem una parcel·la on el contingut de magnesi en el sòl és superior a 1 meq/100g (Taula A2.4 de l'Annex 2).

El contingut de magnesi està correlacionat significativament i positivament amb el contingut de fòsfor (Figura 19). El 74% de les mostres analitzades tenen entre 2 i 8,6 mg de fòsfor/kg i entre 0,21 i 1,19 meq de magnesi/100g.

La correlació del magnesi amb la matèria orgànica tot i que és significativa (sig. 0,000) és baixa ($r=0,446$). Badia i Martí (1999) també obtenen una correlació baixa ($r=0,580$) en sòls de boscos de *Pinus sp.* del Pirineu Central.

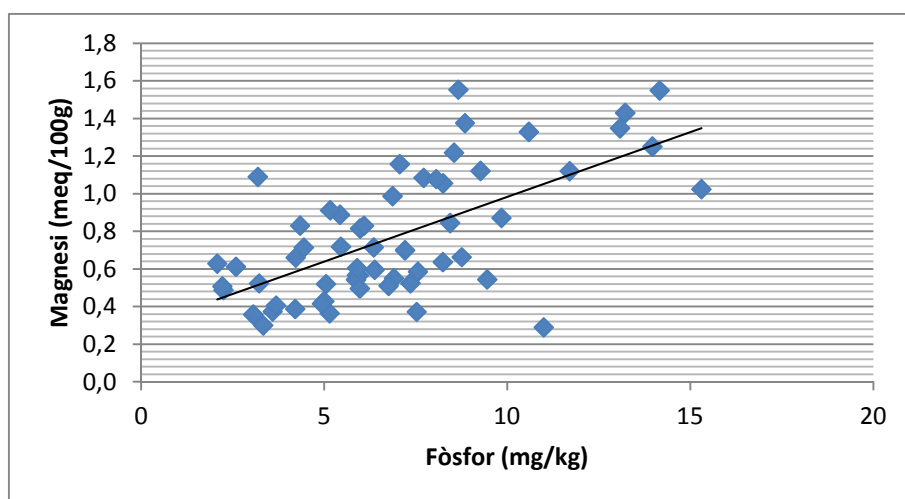


Figura 19: Regressió lineal entre els continguts de fòsfor i de magnesi dels sòls de totes les parcel·les i per als dos horitzons ($r=0,691$; sig. 0,000)

6.8. Capacitat d'intercanvi catiònic

La capacitat d'intercanvi catiònic és un índex de la fertilitat del sòl (Porta et al. 1994), expressa els cations que poden ser intercanviables per unitat de massa del sòl. La capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) dels sòls estudiats és molt baixa segons Badía i Martí (1999) (Taula 11). A la majoria de parcel·les la CIC és inferior a 5, tant en l'horitzó superficial (0-5 cm) com en l'inferior (5-15 cm) (Taula 17). Tot i que la CIC disminueix en profunditat, les diferències entre els dos horitzons considerats (de 0-5 cm i de 5-15 cm) són petites i no resulten significatives (Taula 17). En els dos horitzons hi ha algunes parcel·les que tenen una CIC extremadament baixa (valors mínim de 1,39 meq/100g a l'horitzó de 0-5 cm i de 0,65 meq/100g a l'horitzó de 5-15 cm).

A l'horitzó superior (0-5 cm) la CIC varia significativament ($p < 0,05$) segons el tipus de substrat, essent els sòls de les parcel·les situades sobre calcoesquist els que tenen la CIC més alta i els que hi ha sobre esquist la CIC més baixa (Figura 20).

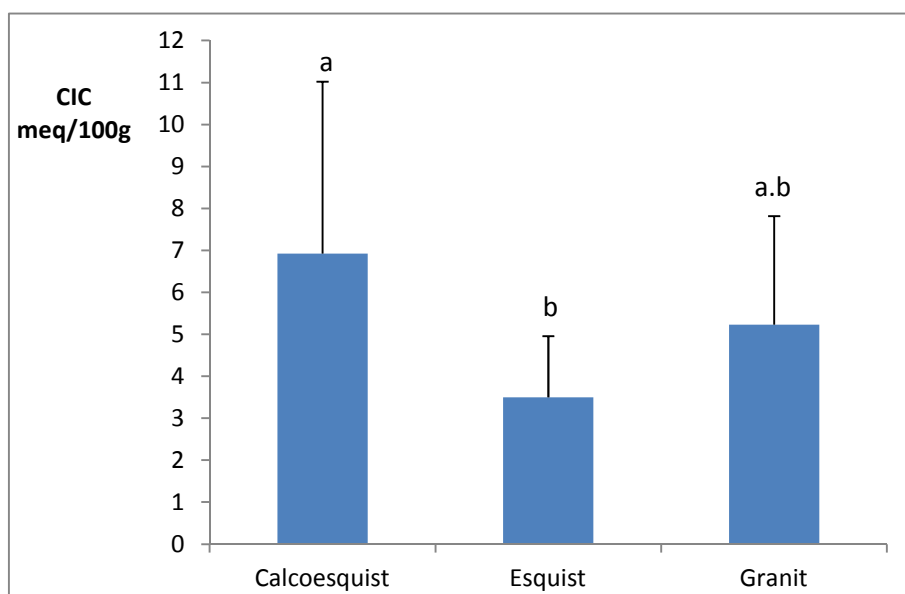


Figura 20: Capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) de l'horitzó superficial (0-5 cm) en els diferents tipus de substrat. Mitjana i desviació estàndard dels sòls de les parcel·les de cada substrat. Les lletres (a i b) diferents indiquen diferències significatives ($p < 0.05$; test de Duncan).

La parcel·la 10 situada en una zona de calcoesquists a la Plana dels Aires (vall de Son del Pi) (Taula A1.1 de l'Annex 1) amb un contingut elevat de matèria orgànica i amb textura franca-llimosa és la que té la CIC més alta (Taula A2.4 de l'Annex 2).

Mentre que la parcel·la 16 situada sobre granit, a la zona de Subenuix (Sant Maurici) (Taula A1.1 de l'Annex 1) amb poca matèria orgànica i amb textura franca-arenosa té el valor més baix de la CIC (Taules de l'Annex 2).

La CIC està correlacionada positivament i significativament amb els continguts de calci i el magnesi. Amb el calci la correlació és molt alta ($r=0,989$), essent les parcel·les que tenen la CIC superior a 10 les que tenen el contingut més alt de Ca (>8 meq Ca/100g) (Figura 21). Pel què fa al magnesi la correlació és més baixa i per tant hi ha més variació en la relació entre la CIC i els continguts de magnesi en el sòl (Figura 22).

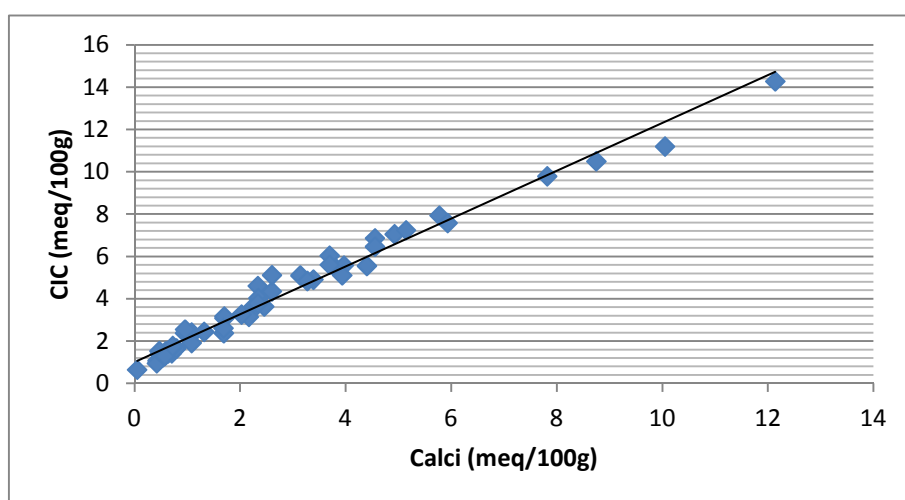


Figura 21: Regressió lineal entre els continguts de calci i la capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) dels sòls de totes les parcel·les i per als dos horitzons ($r=0,989$; sig. 0,000)

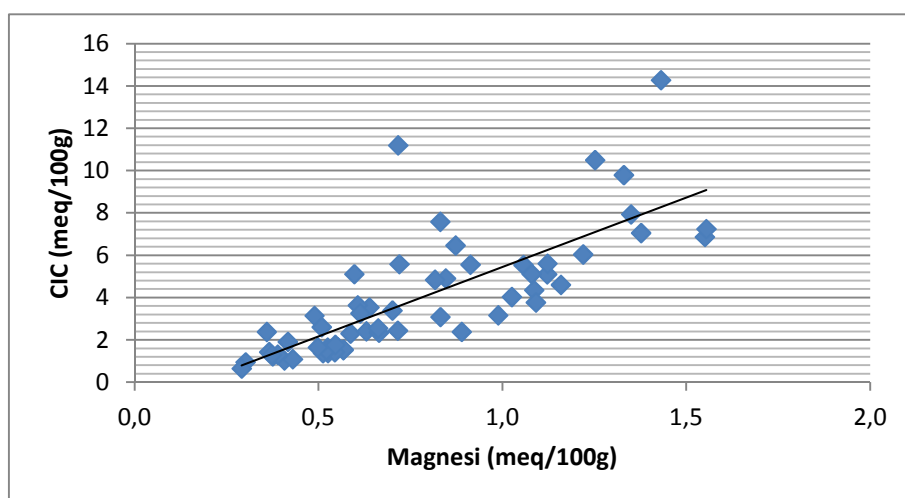


Figura 22: Regressió lineal entre els continguts de magnesi i la capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) dels sòls de totes les parcel·les i per als dos horitzons ($r=0,775$; sig. 0,000)

A l'horitzó superior (0-5 cm) la CIC també està correlacionada positivament i significativament amb el contingut de fòsfor (Figura 23) i a l'horitzó inferior (5-15 cm) amb el contingut de llim groller.

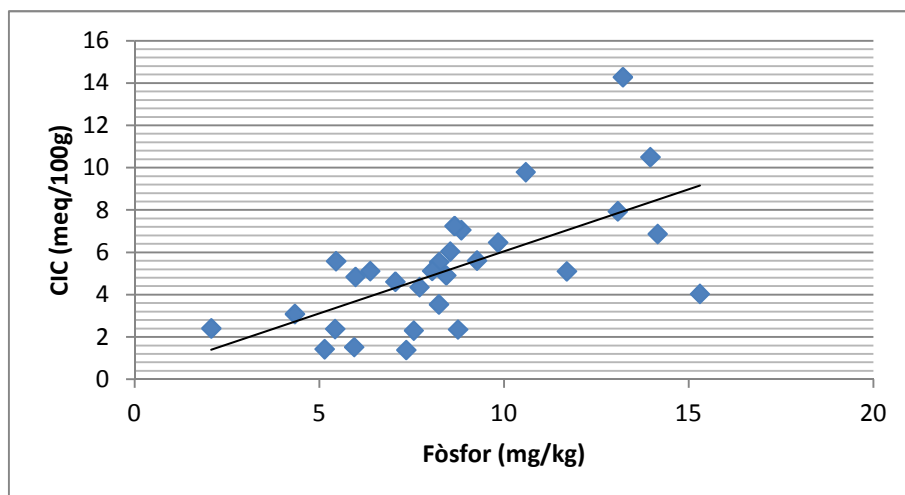


Figura 23: Regressió lineal entre el contingut de fòsfor i la capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) dels sòls de totes les parcel·les a l'horitzó de 0-5 cm ($r=0,637$; sig. 0,000)

7. CONCLUSIONS

Els sòls dels boscos de pi negre desenvolupats sobre granit i sobre esquists són francs i franc-arenosos i els que s'han format sobre calcoesquist són franc-limosos i franc-argilosos.

Els sòls estudiats són fortament àcids amb absència de carbonats, la qual cosa implica que hi pugui haver una bona solubilitat dels minerals i en conseqüència una bona disponibilitat dels nutrients per a les plantes. L'acidesa de reserva ens indica que aquests sòls estan dessaturats i tendeixen a l'acidificació.

L'horitzó superior del sòl (0-5 cm) presenta valors molt elevats de matèria orgànica sobretot a l'horitzó superficial (0-5 cm) amb una mitjana de 22,72%, com en l'horitzó inferior (5-15 cm), amb una mitjana de 12,85%. Es tracta per tant de sòls altament orgànics amb una taxa de mineralització baixa i que per tant acumulen una gran quantitat d'humus. Són sòls majoritàriament amb humus tipus moder tot i que podem trobar-ne alguns que tenen un humus tipus mor, de baixa capacitat de descomposició i mineralització, i d'altres amb un humus de tipus mull més evolucionat.

Els sòls de les parcel·les de granit tenen un major contingut de matèria orgànica que la resta de substrats a l'horitzó superior (0-5 cm). A més profunditat els nivells de matèria orgànica s'igualen i no varien significativament entre els diferents substrats.

El contingut de matèria orgànica disminueix en profunditat i en conseqüència també baixen els continguts de nitrogen i de fòsfors, la relació Carboni/Nitrogen, la concentració de cations, i la capacitat d'intercanvi catiònic.

Els sòls més argilosos són els que tenen major contingut de nitrogen.

Els sòls de les parcel·les situades sobre substrat calcosquist són els que tenen els continguts més alts de cations (calci, magnesi, sodi i potassi) i els valors més alts de la capacitat d'intercanvi catiònic; en conseqüència són els que tenen major fertilitat pel què fa aquests nutrients.

La capacitat d'intercanvi catiònic és molt baixa i està altament correlacionada amb el calci i el magnesi.

Les característiques fisicoquímiques dels sòls varien entre les diferents parcel·les estudiades. Aquesta variabilitat sembla no estar directament relacionada amb el pendent, l'altitud i la orientació a al que es troben les parcel·les, en canvi si que ho està amb el tipus de substrat.

La variabilitat de resultats de molts dels paràmetres analitzats ha fet difícil poder fer-ne una correcta interpretació i ha dificultat la caracterització dels sòls en relació a al seva situació. Aquesta variació pot ser deguda a l'efecte d'altres factors no considerats en l'estudi.

8. BIBLIOGRAFIA

BADIA, A., ESTRADA R., VILANOVA, I. (1983). *Els boscos de Catalunya, II part*. Publicacions de l'Abadia de Montserrat.

BADÍA, D. M. (1999). *Suelos del Pirineo Central: Fragen*. Huesca: I.N.I.A, U.Z., C.P.N.A, I.E.A.

BEATRIZ, A., GARAU A.M. (2009). *Árboles*. Buenos Aires: Editorial Albatros SACI.

BRAVO, A., MONTERO, G. "Descripción de los caracteres culturales de las principales especies forestales de España". *Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria(INIA)*,
<http://www.secforestales.org/web/images/serrada/texto%20fichas%20especies.pdf> [28 d'abril de 2012].

CAMILO, J. (2004). "Análisis del conocimiento en la relación agua-suelo-vegetación para el departamento de antioquia". *EIA, Número 1* , 73-79.

CARRILLO, E. (2006). "Ecosistemes d'alta muntanya: prats alpins i boscos de pi negre". *L'Atzavara* .

CARRILLO, E., CASAS, C., MARMÍ, M., BAGARIA, G., PUENTE,A., CARRERAS, J., NINOT, J.M. (2010). "Reforestació de l'estatge subalpí per boscos de Pinus uncinata: Diversitat i estructura". *VIII Jornada sobre Recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*. Espot: Generalitat de Catalunya. Dep. Medi Ambient i Habitatge.

EGIDO, J.A., GALLARDO, J.F., GARCÍA, A. (1979). "Suelos forestales de la region centro-oeste de España". *Anu.Cent. Edafol.Biol. Apl. Salamanca. Vol. V* , 179-196.

GÓMEZ, M. (2011). "Comparación de propiedades edáficas y procesos ecosistématicos entre plantaciones forestales y bosques secundarios subandinos". *Facultad de ciencias agropecuarias, Departamento de ciencias forestales* .

IBARRA, P. (2004). "La diversidad edáfica del territorio Aragonés". *Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza* .

JORDÁN, A. (2005-2006). Manual de edafología. *Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de sevilla*. <http://es.scribd.com/doc/51630897/15/Humus-moder> [28 d'abril del 2012] .

JULIO, J. G. (1999). "Estructura, patrón espacial y regeneración de una población de Pinus uncinata Ram. en su límite occidental de distribución (Castillo de Vinuesa, Soria-La Rioja)". *Zubía* , 99-153.

LEÓN, A.L., RAMOS, C., GARCÍA, M.R. (2010). "Efecto de plantaciones de pino en la artropofauna del suelo de un bosque Altoandino". *Rev. Biol. Trop. Vol.58* , 1031-1048.

LIFE BOSCOS, CIME. (2010). "Informe analítics de sòls: Estudi de les propietats del sòl agroforestal i potencial forestal". <http://lifeboscos.cime.es/documents/docs/LifeBoscos%5CP1X0047%5CREV0.pdf> [28 de maig del 2012]

MARMÍ, M. (2011). *Estudi de la reforestació natural en el domini de Pinus uncinata Ramondi ex DC a l'estatge subalpí al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*. Treball final de Màster en Biologia experimental. Universitat de Barcelona .

MOLINA, D. (2000). *Conservació i degradació de sòls a les àrees de muntanya en procés d'abandonament. La fertilitat del sòl al Parc Natural del Cadí-Moixeró*. Bellaterra. Tesi doctoral. <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/4936/dmg3de4.pdf?sequence=3> [28 d'abril del 2012].

PORTA, J., LÓPEZ- ACEVEDO, M., POCH, R.M. (2009). *Introducció a l'edafologia. Ús i protecció de sòls*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M., ROQUERO, C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

SAÑA, J. M. (1996). *La gestión de la fertilidad de los suelos*. Madrid: Ministerio de agricultura pesca y alimenacion.

SERRA, X. (2009). *Caracterització i classificació de sòls*. Apunts Gestió i Conservació de Recursos Naturals. Universitat de Vic.

ÚBEDA, X., SALA, M. (1995). *Guia pràctica per a l'estudi dels sòls*. Barcelona: Publicacions de la Universitat de Barcelona.

ZALBA, P., PEINEMANN, N. (1987). "Efecto de algunas especies forestales sobre ciertas propiedades fisicoquímicas del suelo". *Ciencia del Suelo. Volumen 5 - Nº 1* , 72-76.

<http://lifeboscos.cime.es/documents/docs/LifeBoscos%5CP1X0047%5CREV0.pdf>. [25 de maig del 2012).

<http://www.socmicolmadrid.org/noti/noticias130.html>. [28 d'abril del 2012].

ANNEX 1

CARACTERISTIQUES DE LES PARCEL·LES ESTUDIADES

Taula A1.1: Característiques parcel·les estudiades (Carrilo, et al., 2009; Marmí, 2011)

Parcel·la	Nom estació	Coordenades UTM (m)	Altitud (m)	Data	Orientació	Pendent (°)	Posició fisiogràfica (alt, mig o baix de vessant, convex, còncav, pla; esglaonat, etc)	Substrat (roca mare, formació superficial...)
P1	PLAÇA DELS ARBRES (Obaga de St. Maurici, sota Els Encantats)	337247 (E) / 4715940 (N)	1940	29/08/2007	N	12-15 °	convex, lleugerament esglaonat a la part baixa (respecte el canal). Fins al riu (St. Maurici): mig vessant,	Pedregós, granit
P2	LLADRES - Canal St. Maurici - Lladres, prop del dipòsit de Lladres	341174 (E) / 4715787 (N)	1910	10/08/2007	E (90-100°)	33°	mig vessant amb algunes roques aflorant	esquistos carbonatats.
P3	TRESCURO	340460 (E) / 4713795 (N)	2235	11/08/2007	SE	25°	Mig vessant, entremig de dos canals. Disposició irregular del pendent.	Granit
P4	BARRANC D'ESCORIELLA (pistes d'esquí d'Espot)	342001 (E) / 4712941 (N)	2009 (Gps)	04/08/2007	E-SE (110°)	20°	Part mitja vessant, pendent uniforme (pla)	Esquistos àcids i derrumbaments granítics
P5	PLETIU DE LES CASES NOVES (Obaga de Llebreia)	325497 (E) / 4712055 (N)	1927	03/08/2007	NW	15°	Part alta del vessant (obaga de Llebreia), mig vessant cap amunt força pla.	Granit amb troços despresos d'esquistos
P6	SERRA DE LLATS	323537 (E) / 4711537 (N)	2060	30/08/2007	NW	15-20°	Part alta del vessant, lleugerament esglaonat, lleugerament convex.	Esquistos, substrat pedregós amb afloraments rocosos
P7	PLETIU DE RIUMALO	324249 (E) / 4718696 (N)	1849	20/09/2007 i 21/09/2007	E-NE	15-20°	Part mitjana-baixa del vessant, esglaonat amb algun replà	Granit
P8	SOTA LA PRESA DE CAVALLERS	323558 (E) / 4711363 (N)	1660-1650	20/09/2007	E	20-25°	Part baixa del vessant (part inferior del pendent), disposició convexa irregular	Granit
P9	CARENA DE LA SERRA DE LLATS	323558 (E) / 4711363 (N)	2120	21/09/2007	W-SW	10°	Part alta del vessant, perfil lleugerament esglaonat, a les zones on surten arbres.	Calcoesquistos. Sòl força pedregós
P10	PLANA DELS AIRES	340877(E) / 4718026 (N)	2193	08/07/2008	Est	26	part mitja de vessant, pla	calcoesquist
P11	SOTA LES ESTANYERES A LA DRETA DE LA CANAL LLARGA	341129 (E) / 4718600 (N)	1931	09/08/2008	NE	20	part baixa del vessant, pla	esquist i derrubis de calcoesquist
P12	PALMERES SOTA EL PLA DE LA FONT	341375 (E) / 4718434 (N)	1962	09/07/2008	N/NE	23	part baixa de vessant, pla	esquistos (potser amb derrubis calcaris)
P13	CABANA DE LES CABANYES	341054 (E) / 4720371 (N)	1836	09/08/2008	N/NW	27	Part mitja de vessant pla	Esquist
P14	ESTANYERES ALTES	340488 (E) / 4719785 (N)	2049	10/07/2008	E	10	part mitja-alta de vessant, lleugerament convex, una mica esglaonat	esquist
P15	CREU DE L'EIXOL	343524 (E) / 4711814 (N)	2143	05/08/2008	S-W	30-40	part superior del vessant, convex-pla	esquist

Parcel·la	Nom estació	Coordenades UTM (m)	Altitud (m)	Data	Orientació	Pendent (°)	Posició fisiogràfica (alt, mig o baix de vessant, convex, còncav, pla; esglaonat, etc)	Substrat (roca mare, formació superficial...)
P16	PLETA DE SUBENUIX	335468 (E) / 4716329 (N)	2075	06/08/2008	N-NE	30	A mig vessant, entre pla i convex	granit
P17	REFUGI AMITGES, (Sobre l'Estany Superior de Llebre)	334684 (E) / 4717910 (N)	2223	07/08/2008	S	part superior (15-20), part inferior (30-35)	part baixa de vessant, molt irregular amb blocs de granit, nues i convexes.	granit
P18	SOLELL CAREGUE, COLL DEL CANTÓ	345676 (E) / 4706645 (N)	1963	08/09/2008	SE	5 a 10	part alta del vessant- molt irregular i convex- còncav, pla	esquist
P19	OBAGA DE CAREGUE - MATA DE CAREGUE	343502 (E) / 4705441 (N)	1867	09/09/2008	N-NE	25-35	mig vessant, part alta, esglaonat	esquists amb calcàries
P20	COSTERA CONTRAIX (Barranc de Contraix)	330651 (E) / 4715561 (N)	1954	24/09/2008	SE	15-20°	part baixa vessant, esglaonat pels blocs de granit.	Granit
P21	PLETES DE L'ESTANY LLONG	331840 (E) / 4715873 (N)	2090	25/09/2008	SE	30-40°	part baixa del vessant, esglaonat amb blocs de granit	granit
P22	PONTET DE RIUS	323869 (E) / 4723535 (N)	1644	25/09/2008	NE	20-25°	part baixa del vessant, molt irregular amb molts blocs de granit. Coberts de vegetació.	granit
P23	CAMÍ DE LA RESTANCA	324143 (E) / 4722979 (N)	1953	26/09/2008	E	35-40° amb marge de 80-90°	mig vessant, irregular amb molts blocs de granit	granit
P24	CAMÍ COLOMERS	329712 (E) / 4722551 (N)	1945	11/08/2009	E	10 °	part baixa vessant, esglaonat, c onvex.	granit
P25	PONT MONTANETHA	330416 (E) / 4722752 (N)	1870	11/08/2009	NW	0-5°	part baixa vessant, pla, amb monticles on hi ha els arbres	granit
P26	ERA PLANOLA-1	330585 (E) / 4723499 (N)	1840	12/08/2009	N	0-5°	part baixa vessant, pla-concav, irregular, amb blocs de granit	granit
P27	ERA PLANOLA-2	330508 (E) / 4723242 (N)	1866	12/08/2009	NW	5°	part baixa vessant, pla-convex i esglaonat en alguns punts	granit
P28	AVET DE LA CREMADA (Muntanyó de Llacs)	328895 (E) / 4712635 (N)	1910	13/08/2009	N	30°	part baixa del vessant, pla-esglaonat, amb molts blocs de granit	granit
P29	LA CREMADA	329079 (E) / 4712865 (N)	1865	14/08/2009	N	35-40°	Part baixa vessant. Pla-esglaonat	granit

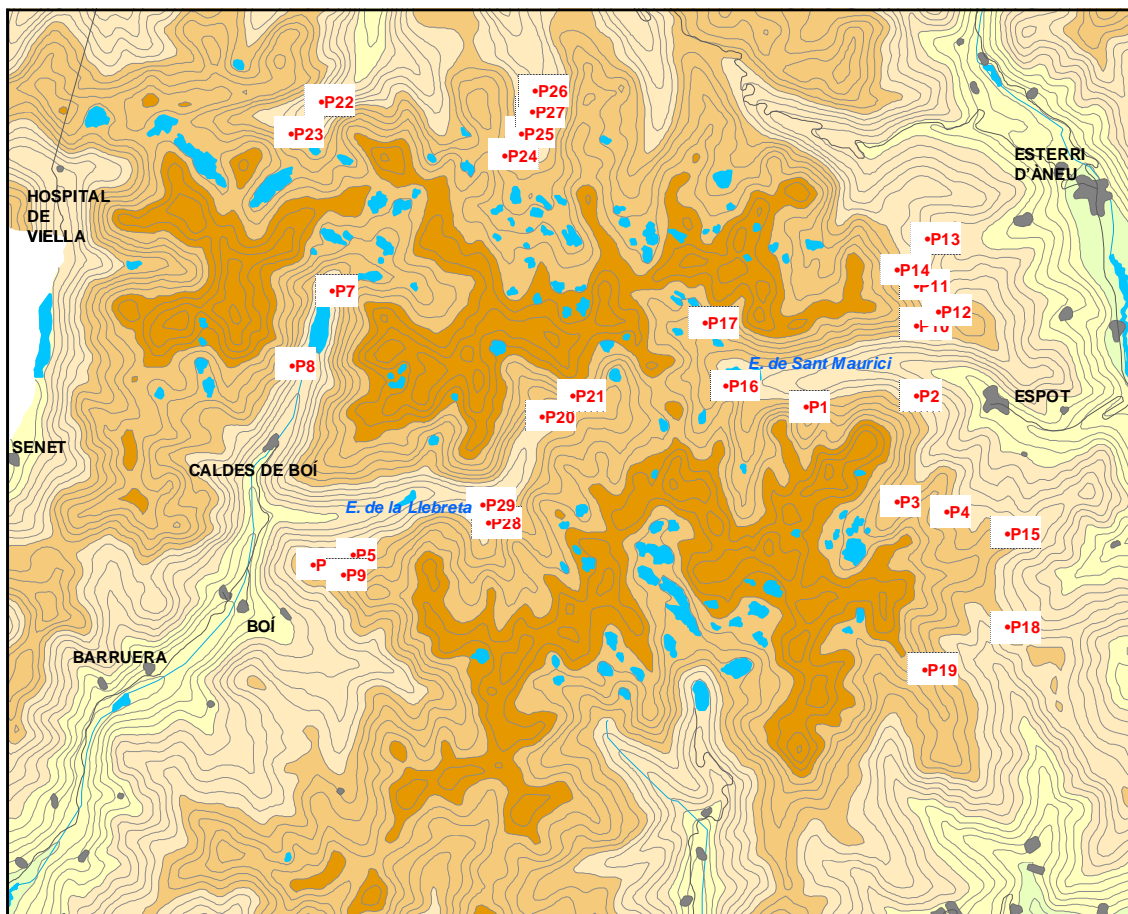


Figura A1.1: Situació de les parcel·les estudiades de boscos de nova formació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici.

ANNEX 2

TAULES DE RESULTATS DE LES ANÀLISIS FÍSICOQUÍMIQUES DELS SÒLS

Taula A2.1: pH i acidesa de reserva de les parcel·les estudiades.

PARCEL·LA	pH (H ₂ O)		pH (CIK)		ACIDESA DE RESERVA	
	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm
P1	5,620*	6,150	5,090*	5,540	0,530	0,610
P2	5,870*	5,910	5,070	5,220	0,800	0,690
P3	5,690	5,450	4,630	4,490	1,060	0,960
P4	5,030	5,190	4,240	4,140	0,790	1,050
P5	4,820*	4,800	4,060*	3,920	0,760	0,880
P6	5,970*	5,820	5,120	5,030	0,850	0,790
P7	4,660*	4,470	3,940*	3,800	0,720	0,670
P8	5,780*	5,210	4,870	4,540	0,910	0,670
P9	5,350	5,410	4,690	4,570	0,660	0,840
P10	5,980	6,130	5,440	5,380	0,540	0,750
P11	5,040	4,990	4,440	4,270	0,600	0,720
P12	5,390	5,080	4,620	4,250	0,770	0,830
P13	4,610	4,510	3,920	3,490	0,690	1,020
P14	5,140	4,950	4,420	3,790	0,720	1,160
P15	5,540	5,290	4,600	4,170	0,940	1,120
P16	5,270	5,190	4,520	4,080	0,750	1,110
P17	4,910*	4,490	4,140*	3,500	0,770	0,990
P18	4,640*	4,510	3,940	3,590	0,700	0,920
P19	4,860*	4,900	4,120	3,820	0,740	1,080
P20	4,490	4,550	3,870	3,570	0,620	0,980
P21	5,360	5,020	4,490	4,030	0,870	0,990
P22	4,630*	4,710*	3,840	3,800	0,790	0,910
P23	4,390*	4,130	3,750*	3,230	0,640	0,900
P24	4,800*	4,840	3,880*	3,900	0,920	0,940
P25	5,620*	5,160	4,640	4,300	0,980	0,860
P26	4,640*	4,940	3,960*	4,040	0,680	0,900
P27	5,380*	4,700	4,370*	3,900	1,010	0,800
P28	5,060	5,030	4,270	3,910	0,790	1,120
P29	4,920	5,050	4,190	3,720	0,730	1,330
Mitjana	5,15	5,05	4,38	4,14	0,77	0,92
Desv.est	0,47	0,49	0,44	0,57	0,13	0,17
Coef. Variació	9,11	9,79	10,14	13,81	17,24	18,48
Mínim	4,39	4,13	3,75	3,23	0,53	0,61
Màxim	5,98	6,15	5,44	5,54	1,06	1,33

* Determinació pH amb dil·lució 1:5 degut a l'elevat contingut de matèria orgànica.

Taula A2.2: Resultats de l'anàlisi granulomètrica de l'horitzó subsuperficial (5-15 cm) dels sòls de les parcel·les estudiades: percentatge d'elements grollers i de terra fina i percentatge de cadascuna de les fraccions.

PARCEL·LA	% GROLLERS		% TERRA FINA		CLASSE DE TEXTURAL (USDA)					
	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	% Arena total	% Llim gros	% Llim fi	% Argila	% Llim fi + argila	5-15 cm
P1	50,4	71,3	49,6	28,7	48,8	16,6	22,5	12,1	34,6	Franca
P2	46,5	52,3	53,5	47,7	34,0	19,8	31,6	14,6	46,2	Franco-llimosa
P3	42,8	46,3	57,2	53,7	73,0	6,8	11,8	8,4	20,2	Franco-arenosa
P4	21,3	46,1	78,7	53,9	45,5	11,5	26,3	16,7	43,0	Franca
P5	60,6	60,0	39,4	40,0	45,0	8,9	26,7	19,4	46,1	Franca
P6	60,7	46,5	39,3	53,5	48,7	21,6	22,9	6,8	29,7	Franco-arenosa
P7	37,7	32,0	62,3	68,0	50,3	9,4	20,0	20,3	40,3	Franca
P8	29,3	52,2	70,7	47,8	73,9	7,6	8,7	9,8	18,5	Franco-arenosa
P9	50,5	48,4	49,5	51,6	56,3	17,1	19,0	7,6	26,6	Franco-arenosa
P10	24,7	20,7	75,3	79,3	23,0	20,8	40,8	15,4	56,2	Franco-llimosa
P11	45,0	58,6	55,0	41,4	32,6	17,4	30,6	19,4	50,0	Franca
P12	30,2	32,9	69,8	67,1	35,5	14,6	31,7	18,2	49,9	Franca
P13	19,4	45,5	80,6	54,5	44,9	7,9	28,3	18,9	47,2	Franca
P14	32,4	32,4	67,6	67,6	57,1	6,1	19,4	17,4	36,8	Franco-arenosa
P15	33,7	36,2	66,3	63,8	43,9	10,3	27,9	17,9	45,8	Franca
P16	40,0	36,6	60,0	63,4	61,9	10,3	17,3	10,5	27,8	Franco-arenosa
P17	16,4	34,8	83,6	65,2	63,8	8,5	15,3	12,4	27,7	Franco-arenosa
P18	43,3	47,0	56,7	53,0	50,7	7,4	21,8	20,1	41,9	Franca
P19	33,4	45,2	66,6	54,8	54,9	7,9	22,5	14,7	37,2	Franco-arenosa
P20	21,1	30,3	78,9	69,7	61,7	7,4	16,1	14,8	30,9	Franco-arenosa
P21	41,7	43,4	58,3	56,6	65,0	7,5	13,0	14,5	27,5	Franco-arenosa
P22	16,2	25,0	83,8	75,0	67,9	7,3	11,7	13,1	24,8	Franco-arenosa
P23	15,1	13,3	84,9	86,7	41,7	7,1	24,3	26,9	51,2	Franca
P24	11,1	28,7	88,9	71,3	56,7	7,7	18,7	16,9	35,6	Franco-arenosa
P25	11,1	19,2	88,9	80,8	66,2	6,1	13,1	14,6	27,7	Franco-arenosa
P26	21,6	19,7	78,4	80,3	56,5	6,7	15,5	21,3	36,8	Franco-argil·loarenosa
P27	28,6	26,5	71,4	73,5	57,1	9,2	16,8	16,9	33,7	Franco-arenosa
P28	11,3	27,7	88,7	72,3	56,5	8,1	16,7	18,7	35,4	Franco-arenosa
P29	45,2	64,2	54,8	35,8	45,2	11,8	25,6	17,4	43,0	Franca
Mitjana	32,47	39,42	67,53	60,58	52,36	10,67	21,26	15,71	36,98	
Desv.est	14,60	14,45	14,60	14,45	12,27	4,72	7,34	4,48	9,82	
Coef. Variació	44,95	36,66	21,61	23,85	23,43	44,28	34,53	28,49	26,57	
Mínim	11,08	13,31	39,28	28,67	23,00	6,10	8,70	6,80	18,50	
Màxim	60,72	71,33	88,92	86,69	73,90	21,60	40,80	26,90	56,20	

Taula A2.3: Resultats de les anàlisis de nitrogen, carboni oxidable, matèria orgànica, relació C/N i fòsfor dels sòls de les parcel·les estudiades. COX: carboni oxidable.

PARCEL·LA	% NITROGEN TOTAL		COX (%)		MATÈRIA ORGÀNICA (%)		RELACIÓ C/N		FÒSFOR (mg/kg)	
	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm
P1	0,663	0,428	11,05	6,05	19,013	10,410	16,68	14,15	14,0	6,4
P2	0,718	0,317	8,68	4,79	14,924	8,240	12,08	15,11	13,1	5,2
P3	0,243	0,206	6,63	3,35	11,401	5,760	27,29	16,24	5,1	3,3
P4	0,567	0,401	7,23	5,76	12,432	9,910	12,75	14,38	5,4	6,9
P5	1,006	0,360	18,36	6,85	31,573	11,780	18,25	19,02	8,8	3,2
P6	0,627	0,346	5,97	4,12	10,270	7,090	9,53	11,93	5,5	3,1
P7	1,172	0,919	17,92	13,41	30,830	23,060	15,30	14,58	8,2	5,0
P8	0,572	0,373	11,07	6,26	19,036	10,770	19,36	16,77	11,7	7,2
P9	0,614	0,458	8,17	4,58	14,050	7,870	13,31	9,99	7,6	3,6
P10	0,922	0,500	9,56	6,71	16,435	11,540	10,37	13,43	13,2	6,1
P11	1,075	0,612	12,24	8,72	21,055	15,000	11,39	14,25	14,2	6,9
P12	0,795	0,528	7,23	6,53	12,441	11,240	9,10	12,37	7,1	4,2
P13	0,751	0,401	9,03	6,09	15,531	10,480	12,02	15,18	4,3	5,9
P14	0,958	0,458	13,70	4,04	23,568	6,950	14,30	8,83	7,7	5,9
P15	0,414	0,276	3,51	4,64	6,045	7,980	8,50	16,82	5,9	5,0
P16	0,372	0,234	5,10	3,96	8,771	6,810	13,71	16,91	2,1	4,2
P17	1,084	0,389	21,65	7,97	37,233	13,710	19,97	20,49	8,5	6,0
P18	0,777	0,472	15,01	7,47	25,825	12,840	19,33	15,80	15,3	6,8
P19	0,692	0,263	13,61	3,87	23,408	6,650	19,66	14,68	8,2	3,7
P20	0,913	0,347	14,44	7,41	24,845	12,740	15,82	21,32	8,8	11,0
P21	0,762	0,459	11,22	8,20	19,306	14,110	14,74	17,89	7,4	7,5
P22	0,875	0,655	22,22	9,44	38,227	16,230	25,40	14,41	9,3	5,9
P23	1,474	1,073	27,29	16,23	46,932	27,920	18,52	15,13	8,1	9,4
P24	0,927	0,677	19,35	12,83	33,290	22,070	20,88	18,95	8,4	2,2
P25	0,696	0,620	12,03	9,31	20,688	16,010	17,29	15,01	6,4	4,9
P26	1,090	0,872	19,42	12,38	33,404	21,300	17,82	14,20	6,0	2,2
P27	1,485	1,177	22,97	14,28	39,509	24,560	15,47	12,13	9,8	2,6
P28	0,859	0,439	15,02	6,23	25,842	10,720	17,49	14,21	10,6	4,4
P29	0,694	0,299	13,45	5,17	23,131	8,890	19,37	17,28	8,7	3,2
Mitjana	0,82	0,50	13,21	7,47	22,72	12,85	16,06	15,22	8,60	5,24
Desv.est	0,29	0,24	5,97	3,42	10,27	5,87	4,55	2,80	3,16	2,08
Coef. Variació	34,83	48,37	45,20	45,72	45,20	45,72	28,34	18,42	36,75	39,74
Mínim	0,24	0,21	3,51	3,35	6,04	5,76	8,50	8,83	2,08	2,21
Màxim	1,48	1,18	27,29	16,23	46,93	27,92	27,29	21,32	15,30	10,99

Taula A2.4: Resultats de les anàlisis dels cations i de la capacitat d'intercanvi catiònic dels sòls de les parcel·les estudiades.

PARCEL·LA	POTASSI (meq/100g)		MAGNESI (meq/100g)		CALCI (meq/100g)		SODI (meq/100g)		CIC (meq/100g)	
	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm
P1	0,475	0,254	1,252	0,717	8,748	10,050	0,027	0,015	10,502	11,199
P2	0,402	0,224	1,350	0,913	5,775	4,400	0,082	0,025	7,942	5,563
P3	0,297	0,204	0,366	0,302	0,704	0,419	0,063	0,029	1,430	0,955
P4	0,424	0,262	0,890	0,553	0,956	0,796	0,114	0,053	2,383	1,663
P5	0,683	0,291	1,377	0,525	4,926	0,777	0,071	0,055	7,057	1,648
P6	0,447	0,317	0,720	0,359	3,968	1,691	0,447	0,016	5,583	2,383
P7	0,571	0,454	0,638	0,522	2,213	0,469	0,122	0,089	3,544	1,535
P8	0,777	0,477	1,122	0,701	3,140	2,193	0,068	0,022	5,107	3,394
P9	0,442	0,293	0,587	0,376	1,078	0,530	0,202	0,031	2,308	1,230
P10	0,556	0,290	1,431	0,831	12,139	5,931	0,155	0,037	14,281	7,588
P11	0,621	0,445	1,551	0,989	4,555	1,699	0,143	0,035	6,870	3,168
P12	0,961	0,895	1,159	0,662	2,334	0,955	0,157	0,044	4,612	2,556
P13	0,430	0,281	0,832	0,569	1,703	0,642	0,123	0,066	3,087	1,558
P14	0,533	0,219	1,086	0,545	2,602	0,638	0,135	0,029	4,356	1,430
P15	0,299	0,195	0,568	0,430	0,592	0,433	0,064	0,037	1,523	1,095
P16	0,453	0,347	0,630	0,389	1,080	0,561	0,083	0,014	2,412	1,311
P17	1,018	0,408	1,220	0,498	3,695	0,697	0,112	0,053	6,045	1,656
P18	0,578	0,315	1,026	0,512	2,344	0,514	0,090	0,046	4,038	1,387
P19	0,605	0,161	1,057	0,407	3,775	0,437	0,110	0,025	5,547	1,030
P20	0,512	0,267	0,664	0,291	1,080	0,048	0,099	0,046	2,356	0,652
P21	0,337	0,328	0,526	0,374	0,479	0,574	0,046	0,030	1,388	1,305
P22	0,705	0,467	1,123	0,607	3,695	2,457	0,089	0,110	5,612	3,641
P23	1,259	0,454	1,080	0,546	2,603	0,724	0,180	0,051	5,123	1,775
P24	0,525	0,390	0,846	0,489	3,389	2,164	0,154	0,107	4,914	3,151
P25	0,482	0,317	0,598	0,417	3,933	1,081	0,101	0,103	5,114	1,919
P26	0,615	0,326	0,817	0,509	3,273	1,686	0,142	0,095	4,847	2,615
P27	0,804	0,442	0,873	0,614	4,555	2,025	0,236	0,184	6,468	3,266
P28	0,550	0,310	1,330	0,716	7,818	1,318	0,096	0,100	9,795	2,444
P29	0,520	0,298	1,555	1,091	5,144	2,336	0,029	0,052	7,248	3,777
Mitjana	0,58	0,34	0,98	0,57	3,53	1,66	0,12	0,06	5,22	2,65
Desv.est	0,22	0,14	0,33	0,20	2,62	2,05	0,08	0,04	2,91	2,21
Coef. Variació	37,05	40,24	33,88	34,97	74,30	123,30	64,87	69,68	55,65	83,46
Mínim	0,30	0,16	0,37	0,29	0,48	0,05	0,03	0,01	1,39	0,65
Màxim	1,26	0,90	1,55	1,09	12,14	10,05	0,45	0,18	14,28	11,20

ANNEX 3

MATRIUS DE CORRELACIÓ DELS PARÀMETRES FISICOQUÍMICS DELS SÒLS

Taula A3.2: Matriu de correlació dels paràmetres fisicoquímics de l'horitzó superficial (0-5 cm)

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

[illegible]

Taula A3.3: Matriu de correlació dels paràmetres fisicoquímics de l'horitzó inferior (5-15 cm)

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

[illegible]

ANNEX 4

PROCEDIMENTS NORMALITZATS DE TREBALL (PNT)

